

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO  
ÂMBITO DA GESTÃO PORTUÁRIA: UM ESTUDO DOS PORTOS MARÍTIMOS  
BRASILEIROS**

Breno Tostes de Gomes Garcia

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

**Orientadores:** Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Marcos Aurélio Vasconcelos de  
Freitas

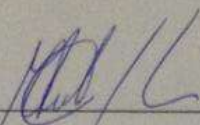
Rio de Janeiro  
Dezembro de 2017

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO  
ÂMBITO DA GESTÃO PORTUÁRIA: UM ESTUDO DOS PORTOS MARÍTIMOS  
BRASILEIROS

Breno Tostes de Gomes Garcia

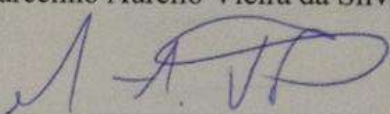
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA  
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

Examinada por:



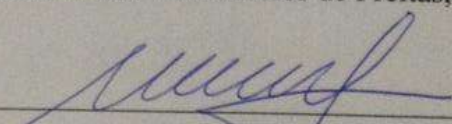
---

Prof. Marcelino Aurélio Vieira da Silva, D. Sc.



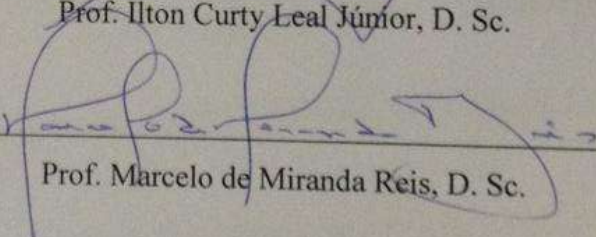
---

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, D. Sc.



---

Prof. Ilton Curty Leal Júnior, D. Sc.



---

Prof. Marcelo de Miranda Reis, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
DEZEMBRO DE 2017

Garcia, Breno Tostes de Gomes

Análise da Eficiência da Geração de Resíduos Sólidos  
no Âmbito da Gestão Portuária: Um Estudo dos Portos  
Marítimos Brasileiros / Breno Tostes de Gomes Garcia –  
Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XIII, 114 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de  
Engenharia de Transportes, 2017

Referências Bibliográficas: p. 99-114.

1. Gestão das Operações Portuárias. 2. Gestão de  
Resíduos Sólidos. 3. Análise Envoltória de Dados (DEA).  
I. Silva, Marcelino Aurélio Vieira da *et al.* II. Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de  
Engenharia de Transportes. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

O desenvolvimento desta dissertação só foi possível graças à um seleto grupo de pessoas que, de alguma forma, fizeram a diferença durante este período da minha vida. Afinal, este trabalho não foi um mero rito acadêmico. Mas, sim, o resultado de todo o esforço e sistemática dedicação empreendida durante todo este tempo.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus por ter me dado forças e tranquilidade para conseguir superar os diversos obstáculos – e não foram poucos – que surgiram ao longo deste tempo, necessários para o meu amadurecimento pessoal.

Sou muito grato à minha mãe, a minha avó e a minha tia avó, Maria Angélica, Alice e tia Aninha, em especial, por estarem sempre do meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida, onde nunca duvidaram do meu potencial na conclusão desta missão.

Agradeço ao meu pai e da minha madrasta, Paulo Márcio e Rute, que sempre me deram apoio e incentivos. Tais incentivos foram necessários para me manter na direção correta.

Agradeço aos meus irmãos, Lucas, Liana e Ana Vitória por tornarem os dias menos estressantes onde, cada um a seu modo, proporcionaram momentos de descontração e gargalhadas.

Tão importante quanto, gostaria de agradecer aos meus orientadores. Ao Marcelino Aurélio pela serenidade nos momentos mais difíceis, e os inúmeros incentivos, fraternos conselhos e orientações, coisa que só um grande amigo e/ou um pai faz. Ao longo deste tempo, foram muitas emoções, boas e ruins. E foram nos piores momentos que o sentimento de “companheiro de farda” mais se fez presente, o que motivou, e continua a motivar, a querer ser um dos soldados nesta batalha. Ao Marcos Freitas por sempre me incentivar a continuar a fazer o que amo, que é pesquisar.

Agradeço ao IVIG, onde foi possível ter acesso a uma infinidade de conteúdos sobre os portos do Brasil o que permitiu realizar esta pesquisa, além do contato direto com os mais diversos profissionais e especialistas ligados ao setor portuário.

Acho que faltam palavras no dicionário para denotar tamanha gratidão que tenho pela Vania Sanches, onde me sinto até hoje acolhido como um filho teu. Neste período, as muitas horas de conversas e sabedoria transmitida, que carregarei para o resto da minha vida, foram essenciais nos momentos em que as decisões mais difíceis foram tomadas, sem sombra de dúvida da melhor forma possível.

O agradecimento que tenho à minha namorada, Carla Teixeira, é especial. Você é uma companheira inequívoca. Esteve do meu lado nas diversas madrugadas que fiquei acordado para desenvolver este trabalho, onde nunca duvidou, sequer por um só segundo que fosse, da importância desta jornada para mim. O teu carinho, compreensão e o teu espírito alegre tornou esta jornada menos difícil.

Igualmente importantes foram os amigos do IVIG, presentes no cotidiano de trabalho, solucionado problemas, dando apoio técnico e emocional de forma muito próxima ao longo desta jornada. Ao Rodrigo, Clarice, Thales, Pedro, Betina, Bruna, Ramiro, Regina, dentre tantos outros, meu muito obrigado.

Aos meus amigos pessoais, Luiz Antônio (Lula) e Bernardo pelo apoio e incentivo sistemático de correr atrás dos meus sonhos. Também gostaria de agradecer ao Mestre Tigrinho pelos treinos, apesar de breves, mas muito importante durante todo este período de desenvolvimento da dissertação. Agradeço a todos os companheiros de tatame tais como; Wellintong, Walter (quem é Walter?), Fred, Nathalia, Pedro, Sheldon, Professor e entre muitos outros colegas de tatame que fizeram a diferença nos treinos.

Devo também agradecimentos aos funcionários e professores do PET, à Jane e a Dona Helena, pelos diversos obstáculos superados. Dedico também aos amigos que adquiri no PET; Beatriz, Igor Godeiro, Bruno Guida, Clara, Gabriella, Brandão, Diana, Luid e Bruno Lemos.

Agradeço a CAPES pela concessão do apoio financeiro, substancial para que eu pudesse me dedicar à ciência neste meu início de carreira, e aos integrantes da banca, por aceitarem o convite para contribuir com o desenvolvimento da dissertação.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO  
ÂMBITO DA GESTÃO PORTUÁRIA: UM ESTUDO DOS PORTOS MARÍTIMOS  
BRASILEIROS

Breno Tostes de Gomes Garcia

Dezembro/2017

Orientadores: Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Programa: Engenharia de Transportes

É inegável a importância do setor portuário no desenvolvimento da economia mundial, e no Brasil não é diferente. Com isso, é de suma importância que os portos marítimos brasileiros sejam eficientes na gestão das operações de movimentação de carga, pois, do contrário, o setor produtivo brasileiro passa a ter uma desvantagem competitiva no mercado internacional. Um dos resultados da ineficiência nas operações portuárias é a geração de resíduos sólidos, cujo inventário foi obtido por meio dos relatórios diagnósticos, fruto da parceria entre a SEP/PR e a UFRJ. Para isto, foi aplicado o método *Network Two-Stage* DEA em 19 portos marítimos brasileiros, com o intuito de analisar a eficiência dos portos considerando dois estágios. No primeiro estágio analisou a eficiência da gestão das operações portuárias, que considerou variáveis de infraestrutura (quantidade de berços, extensão de cais e área de armazenagem) e da operação portuária (quantidade de atracções e movimentação de carga). No segundo estágio, analisou a eficiência da gestão de resíduos sólidos, tendo as variáveis operacionais do estágio anterior como *inputs* e a geração de resíduos sólidos como um *output* indesejável. O resultado evidenciou que o porto de Salvador foi o mais eficiente da amostra, sendo o único porto eficiente no segundo estágio, o que permitiu refutar a hipótese deste trabalho.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE SOLID WASTE GENERATION IN  
THE SCOPE OF PORT MANAGEMENT: A STUDY OF BRAZILIAN SEAPORTS

Breno Tostes de Gomes Garcia

December/2017

Advisors: Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Department: Transport Engineering

The importance of the port sector in the development of the world economy is undeniable, and Brazil is no different. Therefore, it is extremely important that Brazilian seaports are efficient in the management of cargo handling operations, otherwise the Brazilian productive sector will have a competitive disadvantage in the international market. One of the results of inefficiency in port operations is the generation of solid waste, whose inventory was obtained through diagnostic reports, the result of a partnership between SEP / PR and UFRJ. For this, the Network Two-Stage DEA method was applied in 19 Brazilian seaports, with the purpose of analyzing the efficiency of the ports considering two stages. In the first stage, it analyzed the efficiency of port operations management, which considered infrastructure variables (number of berths, berth extension and storage area) and port operation (number of berths and cargo movement). In the second stage, it analyzed the efficiency of solid waste management, with the operational variables of the previous stage as inputs and the generation of solid waste as an undesirable output. The result evidenced that the port of Salvador was the most efficient of the sample, being the only port efficient in the second stage, which allowed to refute the hypothesis of this work.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Considerações Iniciais .....	1
1.2 Problema de Pesquisa e Hipótese .....	2
1.3 Justificativa .....	3
1.4 Objetivos Geral e Específico .....	3
1.5 Estrutura da Dissertação .....	4
<b>2 SETOR PORTUÁRIO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Portos Marítimos.....	8
2.2 Gestão Portuária.....	16
2.2.1 Operações Portuárias .....	19
2.3 Gestão de Resíduos nos Portos .....	21
2.4 Avaliação de Desempenho nos Portos Marítimos .....	26
2.4.1 Indicadores e Medidas de Desempenho em Portos Marítimos.....	28
2.4.2 Eficiência na Operação Portuária .....	29
<b>3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) .....</b>	<b>32</b>
3.1 Conceitos e Definições .....	32
3.2 Modelos Clássicos DEA .....	35
3.2.1 Modelo CCR.....	35
3.2.2 Modelo BCC.....	39
3.3 <i>Outputs</i> indesejados .....	40
3.4 Método <i>Network</i> DEA .....	41
3.4.1 Modelo <i>Network Two-Stage</i> DEA .....	45
3.5 DEA Aplicado no Setor Portuário .....	52
3.6 Seleção das variáveis <i>inputs</i> e <i>outputs</i> .....	59
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>63</b>



4.1	Revisão Bibliográfica .....	64
4.2	Seleção dos Portos Marítimos.....	65
4.3	Seleção do Modelo DEA, Orientação e Variáveis do Problema .....	65
4.4	Aplicação do Método DEA.....	69
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>71</b>
5.1	Resultados do Modelo <i>Two-Stage</i> DEA Relacional Multiplicativo .....	71
5.2	Resultado da Análise Independente dos Estágios .....	81
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>97</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>99</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa dos principais portos e TUPs do Brasil.....	6
Figura 2: Quantidade, em milhões de toneladas, de bens importados e exportados no Brasil no período entre 2010 a 2016.....	6
Figura 3: Percentual de bens importados e exportados para o Brasil no período entre 2010 e 2016. ....	7
Figura 4: Percentual da quantidade de bens transportados por modo de transportes entre 2010 e 2016, no Brasil.....	8
Figura 5: Percentual da quantidade média de carga transportada, por natureza de carga, no período entre 2010 e 2016 .....	12
Figura 6: Quantidade de carga movimentada pelo setor portuário brasileiro, por natureza de carga, no período entre 2010 e 2016.....	12
Figura 7: Quantidade de carga para a exportação, utilizando o setor portuário brasileiro, conforme a natureza de carga, no período entre 2010 e 2016 .....	13
Figura 8: Percentual da quantidade média de carga exportada do Brasil, por natureza de carga, no período entre 2010 e 2016.....	14
Figura 9: Quantidade de carga para a importação, utilizando o setor portuário brasileiro, conforme a natureza de carga, no período entre 2010 e 2016 .....	15
Figura 10: Percentual de carga importada, dada sua natureza no ano de 2016, no Brasil .....	15
Figura 11: Modelo <i>Network Two-Stage</i> DEA estruturado em série fechado .....	42
Figura 12: Modelo <i>Network Two-Stage</i> DEA estruturado em série aberto.....	42
Figura 13: Modelo <i>Network</i> DEA estruturado em paralelo.....	43
Figura 14: Modelo <i>Network</i> DEA considerando a tecnologia de produção dinâmica ....	43
Figura 15: Modelo <i>Network Two-Stage</i> DEA .....	44
Figura 16: Percentual dos tipos de <i>inputs</i> utilizados nos trabalhos científicos levantados, que aplicaram DEA no setor portuário. ....	55
Figura 17: Percentual dos <i>inputs</i> de infraestrutura mais utilizados nos trabalhos levantados .....	56
Figura 18: Percentual dos tipos de <i>outputs</i> mais utilizados nos trabalhos científicos levantados que aplicaram DEA no setor portuário.....	57
Figura 19: Percentual dos <i>outputs</i> mais utilizados nos trabalhos científicos levantados que aplicaram DEA no setor portuário.....	57

Figura 20: Percentual dos modelos adotados pelos autores nos trabalhos levantados ...	58
Figura 21: Fluxograma do procedimento metodológico da pesquisa.....	64
Figura 22: Modelo <i>Network Two-Stage</i> DEA adotado no estudo de caso desta dissertação .....	69
Figura 23: Valores médios, máximos e mínimos dos indicadores de eficiência global e do primeiro e segundo estágios do modelo <i>Two-Stage</i> DEA .....	72
Figura 24: Resultado do índice de eficiência do primeiro estágio do modelo <i>Network Two- Stage</i> DEA. ....	73
Figura 25: Resultado do índice de eficiência do segundo estágio do modelo <i>Network Two- Stage</i> DEA. ....	73
Figura 26: Relação das eficiências do primeiro e do segundo estágios .....	74
Figura 27: Resultado do indicador de eficiências global do modelo <i>Network Two-Stage DEA</i> . ....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modelos de gestão portuária.....	17
Tabela 2: Síntese do levantamento da legislação e normas acerca dos resíduos sólidos aplicado nos portos brasileiros .....	25
Tabela 3: Valores das variáveis consideradas no problema .....	69
Tabela 4: Resultado das eficiências global, do primeiro e do segundo estágios do modelo <i>Two-Stage</i> DEA.....	71
Tabela 5: Pesos atribuídos às variáveis pelo modelo <i>Two-Stage</i> DEA .....	75
Tabela 6: Índices de eficiência padrão, invertida, composta, composta normalizada e hierarquização.....	82
Tabela 7: Pesos atribuídos pelo modelo CCR tradicional na análise da eficiência da gestão das operações portuárias .....	84
Tabela 8: Índices de <i>benchmark</i> do modelo DEA CCR, em que analisa a eficiência da gestão da operação portuária .....	86
Tabela 9: Alvos e folgas das DMUs ineficientes apresentado pelo modelo DEA CCR orientado a <i>output</i> na análise da eficiência da gestão da operação portuária .....	87
Tabela 10: Índices de eficiência padrão, invertida, composta, composta normalizada (Composta*) e hierarquização do modelo CCR orientado a <i>output</i> na análise da eficiência da gestão de resíduos sólidos.....	90
Tabela 11: Pesos atribuídos pelo modelo CCR orientado a <i>output</i> , na análise da eficiência da gestão dos resíduos sólidos .....	91
Tabela 12: Índice de referência apresentado pelo modelo DEA CCR orientado a <i>output</i> , na análise da eficiência da gestão dos resíduos sólidos.....	92
Tabela 13: Alvos e folgas das DMUs ineficientes apresentados pelo modelo DEA CCR orientado a <i>output</i> , na análise da eficiência da gestão dos resíduos sólidos.....	94

## **ABREVIATURAS**

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

BCC – Banker, Charnes and Cooper

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CCR – Charnes, Cooper and Rhodes

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONIT – Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transportes

DEA – *Data Envelopment Analysis*

DMU – *Decision Making Unit*

ETC – Estação de Transbordo de Carga

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMO – *International Maritime Organization*

IP4 – Instalação Portuária Pública de Pequeno Porte

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IVIG – Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais

Kg – Quilograma

MARPOL 73/78 – Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios  
(*Marinne Pollution*) 1973-1978

MDIC – Ministério da Indústria Comércio Exterior e Serviços

MPH – Movimentos Por Hora

MTE – Ministério do Trabalho e Previdência Social

MTPAC – Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil

PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

SEP/PR – Secretaria Especial de Portos da Presidência da República

TUP – Terminal de Uso Privado

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Considerações Iniciais**

Num mundo globalizado, o desenvolvimento da economia e de muitos países é cada vez mais dependente do modo de transporte marítimo, tendo os portos como as principais portas de entrada e saída, que permitem interligar as regiões produtoras às regiões consumidoras (CERCEAU et al., 2014; HIRANANDANI, 2014; TONOLLI et al., 2015).

Segundo Wang e Zhao (2016), o desenvolvimento do transporte marítimo e da indústria portuária são fundamentais para as economias mundiais, dado que, 90% do comércio internacional utiliza o modo de transporte marítimo para movimentar as cargas. Além disto, o modo de transporte marítimo possibilita o desenvolvimento do setor industrial, apoiando o crescimento da manufatura a partir da aproximação entre consumidores e indústrias, promovendo a integração econômica e comercial da região onde o porto se situa (UNCTAD/RMT, 2016).

Diante de um cenário como este, e do ambiente competitivo do comércio exterior, as empresas para se manterem rentáveis buscam por serviços logísticos mais eficientes, visando à qualidade, o preço e agilidade nas entregas (BEUREN et al., 2016).

Sendo assim, o setor portuário moveu-se no sentido de se adequar à nova dinâmica do comércio exterior. Foram investidos recursos financeiros na modernização da infraestrutura dos portos como por exemplo, a aquisição de equipamentos destinados na movimentação das mercadorias. Além disto, métodos mais modernos foram adotados no gerenciamento empresarial e mudanças nos procedimentos de operações portuárias que permitiram aumentar a qualidade dos serviços prestados e a redução dos preços (ACOSTA et al., 2011; FALCÃO e CORREIA, 2012; MONIÉ e VIDAL, 2006).

Uma das externalidades das operações portuárias é a geração de resíduos sólidos, cujos impactos ambientais são fontes de preocupação para os envolvidos do setor, tais como empresas privadas, entidades da administração pública (governos federal, estadual e municipal, ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários), autoridades portuárias, ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), entre outros) e sociedade civil.

As atividades portuárias podem causar impactos de ordem ambiental, social, econômica, entre outras, devido, principalmente, aos resíduos gerados nas operações portuárias e nas embarcações (FREITAS, 2015). Jesus (2015) afirma que os resíduos gerados nas operações portuárias são provenientes da ineficiência na execução das atividades necessárias para a movimentação das cargas.

Esta pesquisa torna-se relevante ao analisar a eficiência da gestão das operações nos portos marítimos brasileiros, onde foi considerado à geração de resíduos sólidos, uma externalidade inerente às atividades de movimentação de cargas.

No auxílio das análises foi adotado o modelo *Network Two-Stage* DEA, por permitir que as análises sejam segregadas em estágios. No primeiro estágio analisou-se a eficiência da operação portuária e, no segundo estágio analisou-se a eficiência do porto quanto à redução na geração de resíduos.

Os resultados apresentados pelo modelo *Network Two-Stage* DEA possibilitaram uma maior compreensão acerca da influência da eficiência da gestão portuária na geração dos resíduos nos portos marítimos brasileiros.

## **1.2 Problema de Pesquisa e Hipótese**

Diante da acirrada concorrência e da exigência por serviços de transportes mais eficientes, além das pressões por melhores práticas visando a redução dos impactos ambientais causados pelas operações portuárias, os portos marítimos brasileiros, em geral, moveram-se na direção de se adequarem a esta nova demanda.

Diante das exigências por melhores práticas operacionais, a questão de pesquisa a ser respondida é: os portos marítimos brasileiros cuja gestão operacional portuária é eficiente, também apresentam eficiência na gestão de resíduos sólidos? A hipótese considerada é que a gestão portuária eficiente possibilita uma gestão de resíduos sólidos mais eficientes, resultando numa menor geração de resíduos sólidos.

### **1.3 Justificativa**

O setor portuário brasileiro é responsável por mais de 90% de todas as mercadorias importadas e exportadas (SOUSA JÚNIOR, 2010). Logo, a eficiência na gestão das operações portuárias é vital para a economia da nação e principalmente para a população brasileira.

Segundo Jesus (2015), a geração de resíduos sólidos é um fator de ineficiência nas operações portuárias. Entretanto, até o ano de 2014, data das publicações dos Relatórios Diagnósticos do Projeto de Conformidade, o setor portuário carecia de informações quanto à geração de resíduos sólidos (tipologias de resíduos e quantidades geradas).

Em posse destas informações, foi possível analisar a eficiência dos portos considerando a geração dos resíduos sólidos. Para isto, foi utilizado o modelo *Network Two-Stage* DEA com o intuito de segregar a análise em dois estágios relacionados entre si. No primeiro estágio, analisou a eficiência da operação portuária e, no segundo estágio, analisou a eficiência da geração dos resíduos sólidos, dado que o *output* do primeiro estágio como o *input* do segundo estágio.

Diante disto, foi possível identificar os portos mais eficientes e, conseqüentemente, os portos mais ineficientes e qual o estágio que influenciou na ineficiência do porto. Com isto, esta pesquisa tem uma relevante contribuição ao meio científico ao analisar a eficiência da gestão das operações portuárias, considerando a geração dos resíduos sólidos como uma externalidade destas operações.

### **1.4 Objetivos Geral e Específico**

Para conseguir responder ao problema de pesquisa, esta dissertação tem como objetivo geral analisar a eficiência da gestão das operações portuárias e da gestão de resíduos sólidos nos portos marítimos brasileiros, utilizando o método DEA.

- Levantar por meio de pesquisa bibliográfica, os conceitos e as ações necessárias para a gestão portuária eficiente;



- Levantar e identificar as medidas de eficiência adotadas na gestão dos portos marítimos brasileiros, no âmbito das operações portuárias;
- Analisar de forma individual e comparativa, os portos que apresentaram elevados índices de eficiência nas operações portuárias também apresentaram elevados índices de eficiência quanto à geração de resíduos sólidos, e vice-versa;

### **1.5 Estrutura da Dissertação**

A dissertação foi organizada de maneira que a compreensão das ideias e dos conceitos adotados sejam adequados. Sendo assim, na seção 2 é apresentada a contextualização da dissertação, onde são apresentados os conceitos e terminologias adotados pelo setor portuário quanto as operações portuárias e geração de resíduos, além de apresentar uma discussão quanto à avaliação do desempenho dos portos.

Na seção 3 é apresentado o método DEA adotado nesta dissertação para avaliar a gestão portuária, onde é apresentado as variáveis adotadas neste trabalho tais como, de infraestrutura, de operação e de geração de resíduos. Ao considerar o problema de pesquisa e suas variáveis, fez-se necessário levantar os conceitos sobre as implicações de se utilizar *outputs* indesejados no modelo, além dos tratamentos necessários para incorporar adequadamente esta variável ao problema de pesquisa.

Na seção 4 é apresentado o procedimento metodológico considerado nesta pesquisa e as devidas justificativas acerca da escolha dos modelos DEA, sua orientação, variáveis do problema, além da escolha da abordagem adotada para o tratamento da variável indesejada do problema.

Na seção 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio dos modelos DEA. Nesta seção são abordados aspectos da influência da gestão portuária na geração dos resíduos sólidos nos portos marítimos brasileiros.

Por fim, a seção 6 apresenta a conclusão decorrente de todo o estudo e as recomendações para trabalhos futuros e, em seguida, encontra-se disponível as referências utilizadas ao longo desta pesquisa.

## **2 SETOR PORTUÁRIO**

O setor de transporte aquaviário brasileiro conta com a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) que é uma autarquia especial, integrante da administração federal indireta e vinculada ao Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (MTPAC), e tem por finalidade implementar as políticas formuladas pelo ministério a que se está subordinada e pelo Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transportes (CONIT) (ANTAQ, 2017a). Além disto, é de responsabilidade da ANTAQ regular, supervisionar, e fiscalizar as atividades relativas à prestação de serviços no transporte aquaviário e à exploração da infraestrutura portuária e aquaviária (ANTAQ, 2017a; BRASIL, 2001).

No ano de 2007, o Governo Federal criou a Secretaria Especial de Portos da Presidência da República (SEP/PR), vinculada à Presidência da República do Brasil, cujo objetivo é formular políticas e diretrizes visando o desenvolvimento e o fomento do setor portuário (portos, instalações portuárias marítimas, fluviais e lacustres), por meio da promoção da execução e avaliação de medidas, programas, projetos de apoio ao desenvolvimento da infraestrutura e da superestrutura deste setor (BRASIL, 2007). Entretanto, no ano de 2016, a SEP/PR foi extinta e suas funções foram transferidas para o MTPAC, conforme Lei nº 13.341/2016 (BRASIL, 2016).

As instalações portuárias brasileiras são apresentadas em quatro tipos que são; porto organizado, Terminal de Uso Privativo (TUP), Estação de Transbordo de Carga (ETC) e Instalação Portuária Pública de Pequeno Porte (IP4) (CARMO, 2015).

A área do território brasileiro é de 8,516 milhões de quilômetros quadrados (Km<sup>2</sup>), aproximadamente, e conta com 8,511 mil Km de costa navegável (IBGE, 2017a; MTPAC, 2017). Dada estas dimensões, o transporte aquaviário brasileiro conta com 37 portos marítimos e 160 terminais de uso privado (TUP), conforme é possível observar na Figura 1 (ANTAQ, 2017b; BRASIL, 2015).

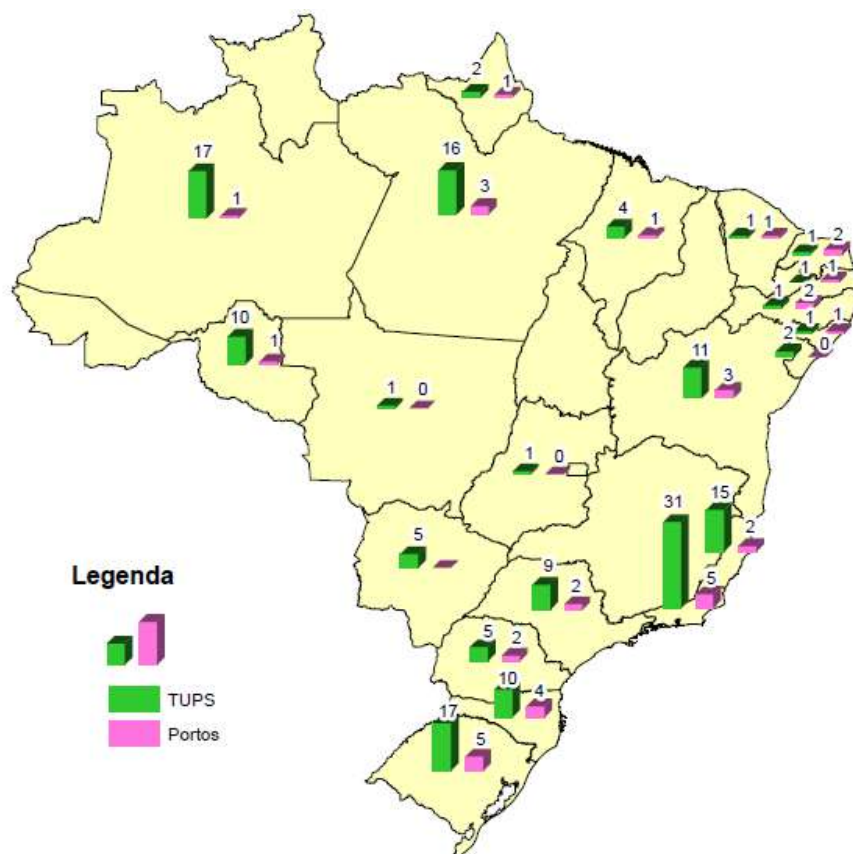


Figura 1: Mapa dos principais portos e TUPs do Brasil  
Fonte: Elaboração própria

Num período de seis anos, entre 2010 e 2016, os portos e TUPs brasileiros movimentaram, em média, 718,371 milhões de toneladas de mercadorias (Figura 2), o que representa em valores monetários um montante de US\$ 2,927 trilhão (MDIC, 2017).

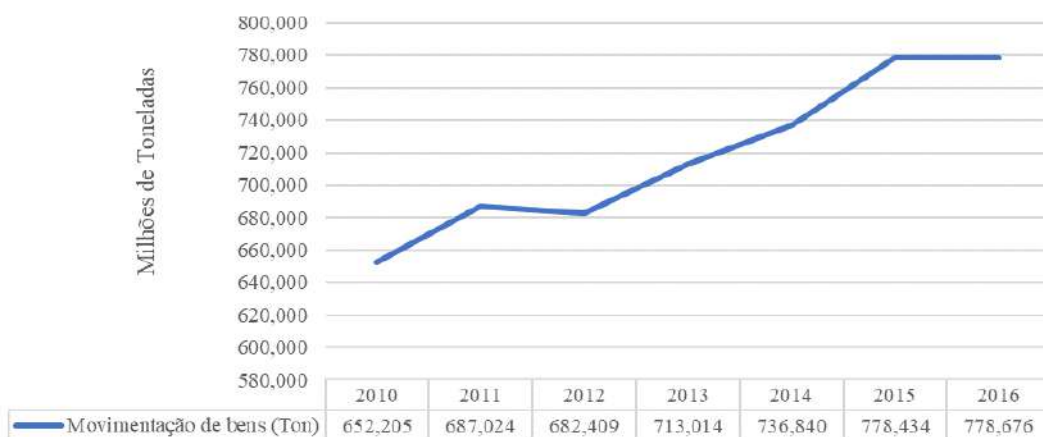


Figura 2: Quantidade, em milhões de toneladas, de bens importados e exportados no Brasil no período entre 2010 a 2016.  
Fonte: Adaptado de (MDIC, 2017).

A Figura 2 evidencia o aumento significativo na quantidade de bens transportados obtidos no comércio exterior, principalmente no período entre 2012 e 2015. No período entre 2010 e 2016, o aumento da quantidade de bens importados e exportados foi de 19,39% (MDIC, 2017). Entretanto, o ano de 2012 foi o único que apresentou queda nas importações e exportações brasileiras, na comparação com o ano anterior, dado a crise econômica que assolou boa parte das economias mundiais. Nos anos seguintes a esta crise, entre 2013 e 2016, o comércio internacional brasileiro foi marcado por uma recuperação acumulada de 14,11% no período.

A balança comercial brasileira apresentou um volume de importação maior quando comparado com a quantidade de bens exportados, conforme é possível observar no Figura 3. No que se refere à importação, a média da quantidade de bens transportados foi de 148,344 milhões de toneladas. Nas exportações esta média foi 284,26% maior, com 570,027 milhões de toneladas no mesmo período de tempo (MDIC, 2017).

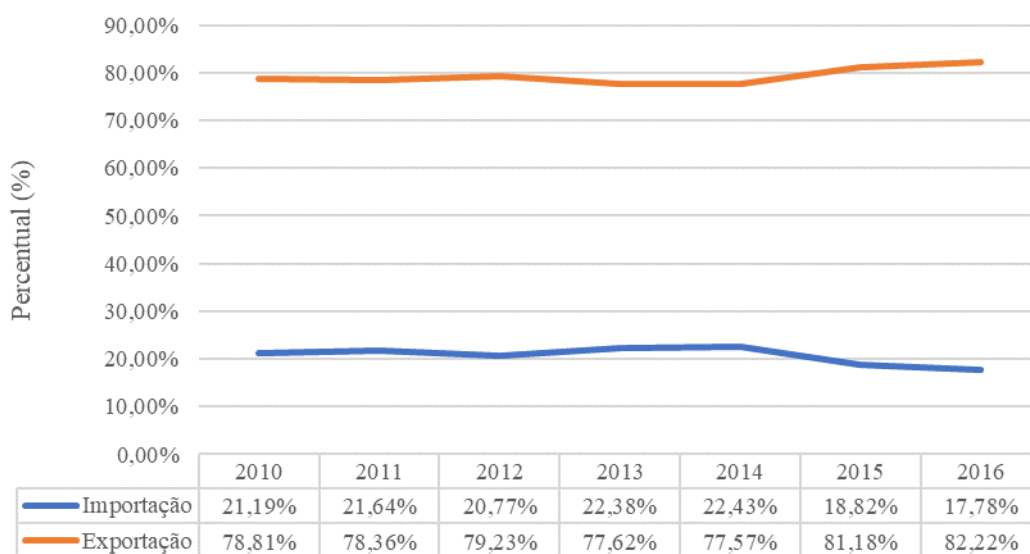


Figura 3: Percentual de bens importados e exportados para o Brasil no período entre 2010 e 2016.  
Fonte: Adaptado de (MDIC, 2017).

Dada à dimensão territorial do Brasil, o transporte marítimo foi o modo de transportes que mais movimentou cargas (Figura 4). No ano de 2016, o transporte marítimo foi responsável pela importação e exportação de cerca de 616,5 milhões de toneladas de carga, representando 96,30% do total de cargas transportadas. Na média, o transporte marítimo movimenta cerca de 547,91 milhões de toneladas de carga.

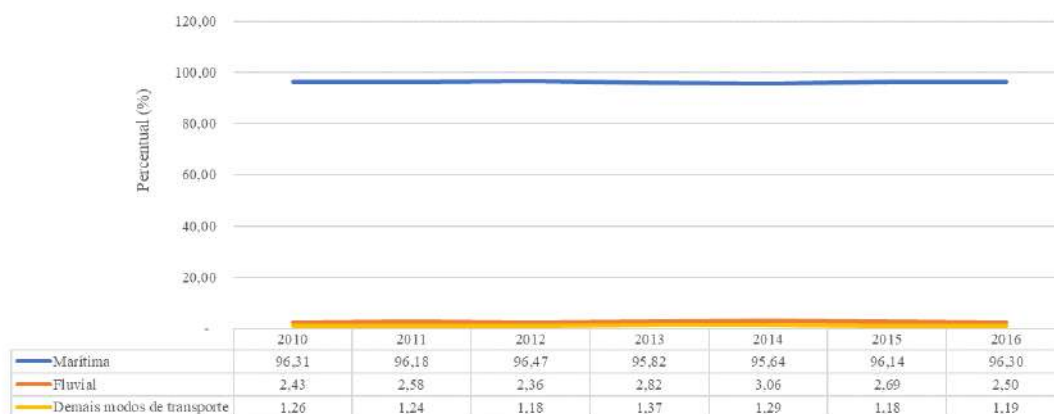


Figura 4: Percentual da quantidade de bens transportados por modo de transportes entre 2010 e 2016, no Brasil.

Fonte: Adaptado de (MDIC, 2017)

Na segunda posição, o modo de transporte fluvial foi o segundo mais utilizado para a importação e exportação de cargas, cuja representatividade oscilou entre 2,36% (12,7 milhões de toneladas), em 2012, a 3,06% (17,5 milhões de toneladas), em 2014 (MDIC, 2017). Por fim, os modos de transportes rodoviário, meios próprios<sup>1</sup>, não declarado, ferroviário, aéreo, postal, lacustre e dutoviário foram agrupados na categoria ‘Demais modos de transportes’ porque transportaram menos de 1% da quantidade total de bens no período.

A partir do exposto, é possível concluir que o transporte marítimo é o principal meio de transporte na movimentação de bens advindos do comércio internacional, conforme evidenciado no Figura 4, num período de seis anos (2010 a 2016), pelo menos 95% dos bens oriundos do comércio exterior utilizaram os portos e instalações portuárias.

## 2.1 Portos Marítimos

Diante da importância do setor portuário no desenvolvimento econômico do Brasil, a presente dissertação se debruçou sobre o modo de transporte aquaviário, e nesta subseção serão expostos os principais conceitos e definições deste modo de transportes.

<sup>1</sup> O modo de transporte “meios próprios” é para os bens que são autotransportáveis, tais como, embarcações, aeronaves, bens transportados em mãos como, joias, e pedras preciosas, ou, bens transportados “em veículos do próprio exportador ou importador e em outros veículos dispensados de emissão desses documentos, na forma da legislação de transporte vigente” (MDIC, 2017).

O modo de transporte aquaviário, segundo a lei nº 12.379/11, é composto pelas vias navegáveis, pelos portos marítimos e fluviais, pelos dispositivos que permitem a transposição de nível (como por exemplo, as eclusas), pelas interligações aquaviárias de bacias hidrográficas e pelas instalações e estruturas destinadas à operação e à segurança da navegação aquaviária (BRASIL, 2011).

O Poder Legislativo brasileiro promulgou a lei nº 12.815/13, conhecida como Lei de Modernização dos Portos que define porto organizado como;

Bem público construído e aparelhado para atender a necessidades de navegação, de movimentação de passageiros ou de movimentação e armazenagem de mercadorias, e cujo tráfego e operações portuárias estejam sob jurisdição de autoridade portuária (BRASIL, 2013)

A Lei de Modernização dos Portos (lei nº 12.815/13) foi um substituto da lei nº 8.630/93, que, na época, ficou conhecida como a “Lei dos Portos” (SILVA, 2014). Para BNDES (2012), os portos organizados são aqueles que estão sob a competência de uma autoridade portuária.

Goes Filho (2010) define porto como qualquer lugar que possibilita realizar o transbordo de bens ou passageiros, entre o tráfego marítimo e o terrestre. Ainda para o mesmo autor, os portos devem ter fácil acesso terrestre, ter profundidade compatível e instalações de acostagem adequada aos navios que a eles se destinam, capacidade para movimentar as cargas, abrigo para os navios e adequada áreas de estocagem para as cargas que se destinam a atender.

Sousa Júnior (2010) afirma que o porto é um elo da cadeia de transportes, tendo como objetivo promover a integração entre as sociedades que detêm produtos diferentes. No que tange ao transporte de cargas, o porto influencia diretamente no crescimento da economia da região e do seu entorno (*hinterland*) e, de certa forma “pode ser considerado como indutor de crescimento econômico da região no seu entorno” (SOUSA JÚNIOR, 2010, p. 6).

Para Acosta (2008), o porto organizado consiste numa área que compreende as instalações portuárias, tais como; “ancoradouros, docas, cais, armazéns, edificações, vias de circulação

interna, acesso aquaviário”, entre outros, permitindo que as atividades de movimentação e armazenagem dos bens oriundos ou destinados ao transporte aquaviário (ACOSTA, 2008, p. 23).

Segundo a Lei de Modernização dos Portos – lei nº 12.815/2013 –, a Área do Porto Organizado é aquela que “compreende as instalações portuárias e a infraestrutura de proteção e de acesso ao porto organizado” (BRASIL, 2013, p. 1). Segundo a mesma legislação, define-se instalação portuária como àquela que se encontra dentro ou fora da área do porto organizado com a finalidade de transportar e armazenar mercadorias e movimentar passageiros, por meio do transporte aquaviário (BRASIL, 2013; SILVA, 2014).

Para que as atividades portuárias possam ser executadas, é imprescindível que a infraestrutura seja coerente com as características das atividades de movimentação de carga do porto. Com isso, Acosta (2008) e Lacerda (2005) afirmam que a infraestrutura portuária é composta pelos ativos fixos que permitem movimentar as cargas entre os navios e os modos de transportes terrestres.

A infraestrutura portuária pode ser dividida em dois tipos; terrestre e marítima. A primeira possibilita carregar e descarregar as cargas entre as embarcações e o limite da área do porto. Ou seja, a infraestrutura terrestre é formada por equipamentos e instalações físicas em terra que permitam movimentar as cargas dentro da área do porto por meio das vias ferroviárias, rodoviárias, por dutos e correias transportadoras, pátios dos terminais de embarque e desembarque das cargas, entre outros (ACOSTA, 2008; LACERDA, 2005).

A infraestrutura aquaviária permite o trânsito das embarcações em direção aos portos e ao mar. Para isto, é preciso que haja os “canais de acesso aos portos, bacias de evolução, quebra-mares e berços de atracação” (ACOSTA, 2008, p. 24). A superestrutura portuária é formada pelos equipamentos que carregam e descarregam os navios, assim como os armazéns, silos e entre outros (CRAVEIRO, 2015).

Goes Filho (2010) afirma que o arranjo geral dos portos, normalmente, se distingue em três partes: canal de acesso, anteporto e o porto propriamente dito, considerando a bacia de evolução e as instalações de acostagem.

Para o mesmo autor, o canal de acesso “liga as profundidades existentes em alto mar às instalações internas do porto”, permitindo o transito de navios (GOES FILHO, 2010, p. 28). O anteporto é a “área marítima onde os navios fundeiam” ao entrar no porto, onde aguardam a visita das autoridades policiais, aduaneiras e da saúde com o intuito de desembarcar o navio para a atracação (GOES FILHO, 2010, p. 28). Por fim, o porto é o local que se encontram “as instalações de acostagem para os navios em frente às quais se apresenta a bacia de evolução”, utilizada para manobras de atracação e desatracação dos navios (GOES FILHO, 2010, p. 29).

Conforme já mencionado, a infraestrutura e superestrutura devem ser coerentes com o tipo de carga movimentada. Com isso, faz-se necessário apresentar a classificação das cargas movimentadas nos portos e terminais portuários, a partir da natureza da carga, sua forma e da dificuldade de manuseio (FONTES, 2006). Quanto a natureza, as cargas são divididas em: granel sólido, granel líquido e carga geral definidas da seguinte forma (ANTAQ, 2009, 2014; FONTES, 2006):

- Granel Sólido: é a carga seca fragmentada, transportada em grandes quantidades diretamente nos porões do navio sem embalagem, como por exemplo, minérios e grãos.
- Granel Líquido: é a carga no estado líquido, transportada diretamente nos porões do navio, sem embalagem e em grandes quantidades, movimentadas por meio de dutos e bombas, como por exemplo, petróleo e seus derivados, óleos vegetais, sucos de laranja, entre outros.
- Carga Geral: são as mercadorias que não se encaixam nas categorias de graneis sólidos e líquidos. As cargas gerais são acondicionadas em diversos tipos de embalagens e nos mais variados pesos e volumes, como por exemplo, sacos, caixas de madeira ou papelão ou similares, engradados, tambores, barris, contêineres, *pallets*, entre outros.

Segundo a ANTAQ, no período entre 2010 e 2016, o setor portuário transportou, em média, cerca de 516,71 milhões de toneladas de granel sólido (75,41%), 101,04 milhões de



toneladas de carga geral (14,75%) e 67,45 milhões de toneladas de granel líquido (9,84%) (Figura 5).

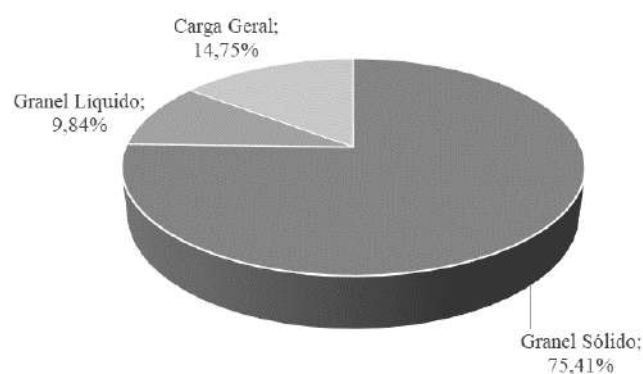


Figura 5: Percentual da quantidade média de carga transportada, por natureza de carga, no período entre 2010 e 2016

Fonte: Adaptado de (ANTAQ, 2016)

Ao analisar o comportamento anual da movimentação das cargas pelo setor portuário brasileiro no período considerado (Figura 6), pode ser observado que, no total, houve um aumento de 34,59% na quantidade de cargas movimentadas. A carga que mais influenciou neste aumento foi o granel sólido que cresceu cerca de 41,06%, um incremento de 166,66 milhões de toneladas (ANTAQ, 2016).

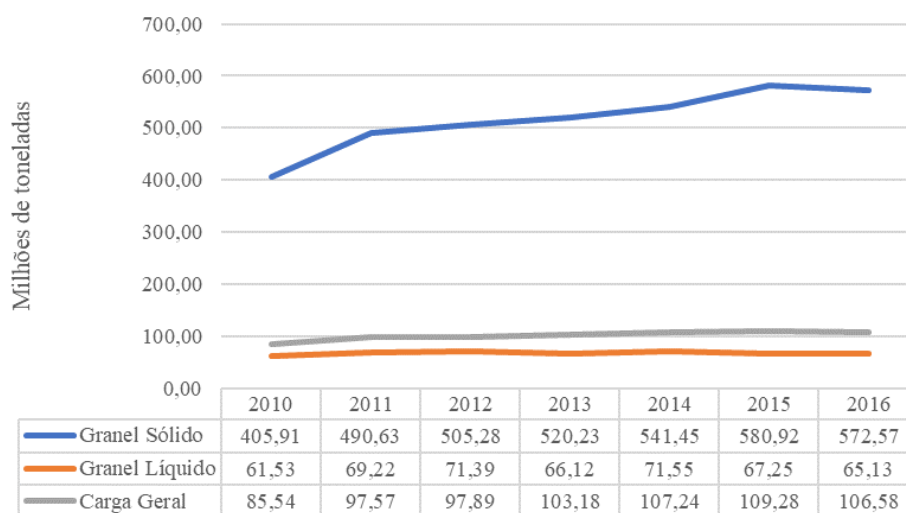


Figura 6: Quantidade de carga movimentada pelo setor portuário brasileiro, por natureza de carga, no período entre 2010 e 2016

Fonte: Adaptado de (ANTAQ, 2016)

Em seguida, as cargas de granel líquido apresentaram incremento de 24,59% (21,04 milhões de toneladas) no período amostral. Por fim, a carga geral apresentou um aumento de 5,85% (3,60 milhões de toneladas) nas movimentações de carga (Figura 6).

#### – Exportação

Conforme a Figura 7 e a Figura 8, o granel sólido foi a carga mais exportada, com uma quantidade média anual de 454,48 milhões de toneladas (83,62%). No período de tempo considerado, as exportações de graneis sólidos apresentaram aumento de 40,68%, um incremento de 146,36 milhões de toneladas.

A quantidade de carga geral exportada do Brasil que utilizou o setor portuário foi de 62,45 milhões de toneladas, com uma representatividade de 11,49%. Neste período de tempo, as exportações desta carga apresentaram um aumento de 45,03% (22,91 milhões de toneladas).

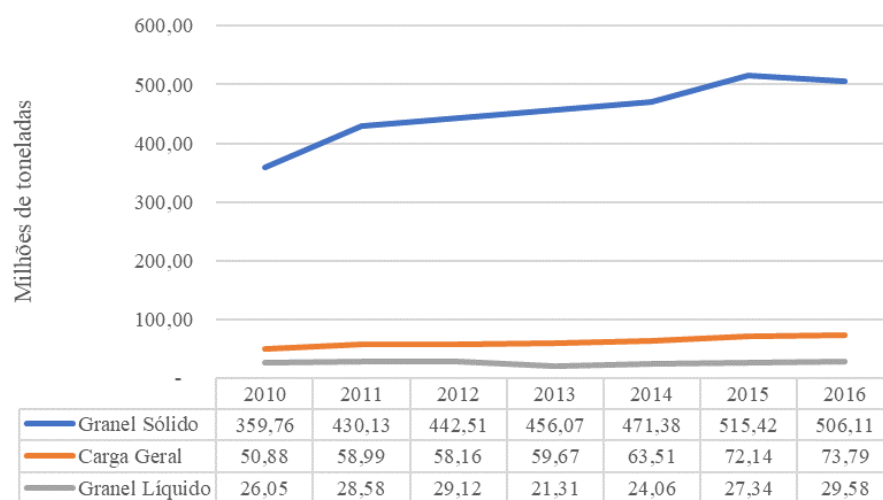


Figura 7: Quantidade de carga para a exportação, utilizando o setor portuário brasileiro, conforme a natureza de carga, no período entre 2010 e 2016

Fonte: (ANTAQ, 2016)

Por fim, a quantidade média anual de granel líquido exportado foi de 26,58 milhões de toneladas, representando 4,89% desta quantidade, incremento no período de 13,56% (3,53 milhões de toneladas).

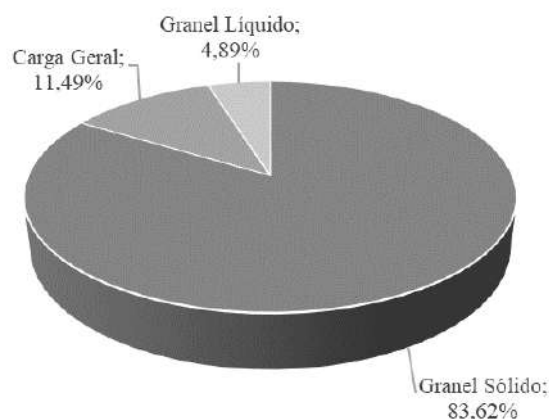


Figura 8: Percentual da quantidade média de carga exportada do Brasil, por natureza de carga, no período entre 2010 e 2016

Fonte: Adaptado de (ANTAQ, 2016)

A partir destes dados, é possível concluir que o Brasil é um país de atividade econômica ainda primária, pois, a prevalência de graneis sólidos nas exportações brasileiras podem configurar que o Brasil desempenha mais ativamente as atividades de agricultura e extração de minerais.

#### – Importação

As importações brasileiras apresentaram uma quantidade média anual de 62,23 milhões de toneladas de granel sólido (43,92%). Num período de seis anos, as importações de granel sólido aumentaram em 43,99% (20,30 milhões de toneladas), conforme é possível observar na Figura 9 e na Figura 10.

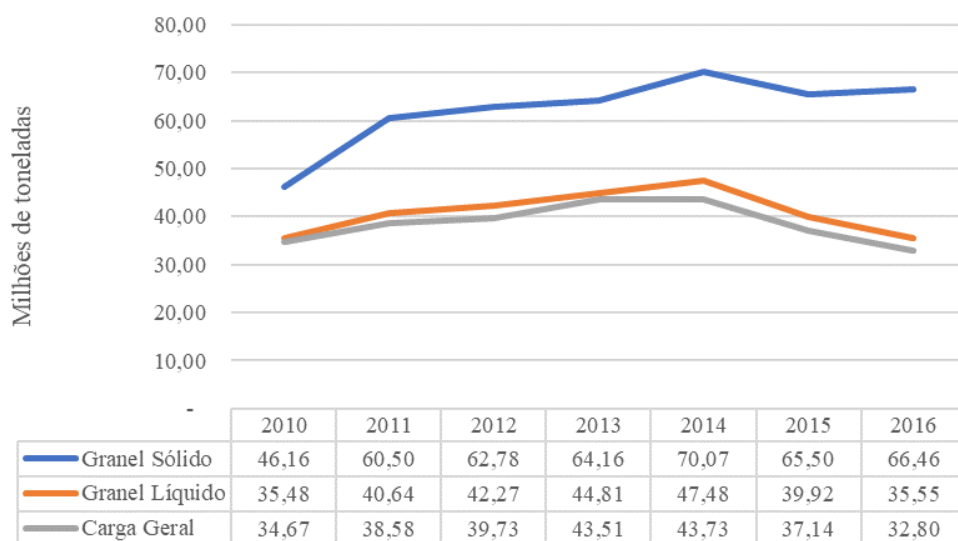


Figura 9: Quantidade de carga para a importação, utilizando o setor portuário brasileiro, conforme a natureza de carga, no período entre 2010 e 2016  
Fonte: (ANTAQ, 2016)

As importações de granel líquido e carga geral foram, na média anual, respectivamente, de 40,88 e 38,59 milhões de toneladas, representando 28,85% e 27,24%. No período, o aumento da quantidade de granel líquido importado foi de apenas 0,19% (0,07 milhões de toneladas). De carga geral, houve uma redução de 5,41%, o que representou 1,87 milhões de toneladas de carga a menos nas importações brasileiras. Entretanto, a quantidade de bens importados apresentou queda nos anos de 2015 (3,85% menor) e 2016 (3,6% menor) (Figura 9), evidenciando, assim, uma recessão econômica que assolou o país (IBGE, 2017b).

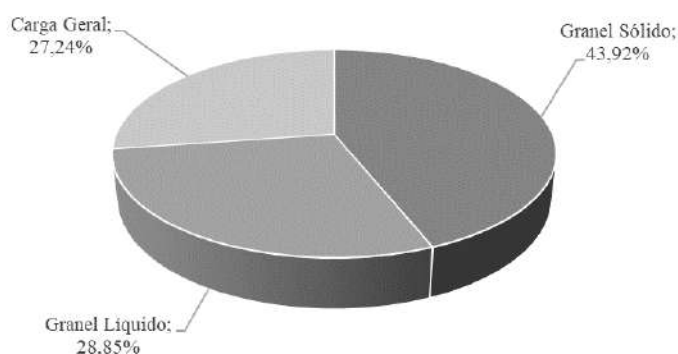


Figura 10: Percentual de carga importada, dada sua natureza no ano de 2016, no Brasil  
Fonte: (ANTAQ, 2016)

Ao analisar os dados do comércio exterior brasileiro é possível concluir que o Brasil tem uma forte economia primária, cujas atividades são de extração de recursos minerais e de

agricultura, exportando vultosas quantidades de graneis sólidos. Por outro lado, sua economia secundária (indústrias) é pouco desenvolvida, dado a quantidade de bens industrializados, como a carga geral e o granel líquido, em geral, são importados.

## **2.2 Gestão Portuária**

No dicionário, a palavra gestão é definida como; ações, ou atos, de gerir algo, por exemplo, de administrar um negócio (MICHAELIS, 1998). Para BNDES (2012, p. 77), a gestão é o “conjunto de regras, procedimentos e ferramentas utilizados para o bom funcionamento dos portos”.

Barros (2013) afirma que a gestão diz respeito à utilização dos recursos disponíveis, visando atender os objetivos organizacionais pré-determinados. Desta forma, é preciso apresentar os conceitos acerca das operações portuárias que são um conjunto complexo de todas as ações necessárias (movimentação e armazenagem) para realizar a passagem dos bens entre os modos de transportes marítimo e os terrestres (BARROS, 2013; SILVEIRA et al., 2012). Sendo assim, é possível afirmar que a gestão operacional portuária é a união dos recursos disponíveis utilizados de forma eficiente nas operações portuárias (BARROS, 2013; KUROSAWA, 2003).

As operações portuárias podem ser executadas por entes públicos ou privados e, a partir disto, o Banco Mundial (WORLD BANK, 2007) classifica a gestão portuária a partir de critérios relacionados a função da sua orientação (local, regional ou global), a responsabilidade de prestar os serviços (setor público, privado ou por ambos), a responsabilidade pela propriedade e ao fornecimento da mão de obra portuária (VIEIRA, 2013).

Os modelos de gestão portuário são (TONOLLI et al., 2015; VIEIRA, 2013; WORLD BANK, 2007);

- *Service Port*: de forma predominante, os atores neste modelo de gestão são públicos. A construção da infraestrutura (incluindo seus acessos) e da superestrutura do porto (aquisição de equipamentos para os terminais) e a operação destas instalações é de

responsabilidade do governo (direta ou indiretamente por meio de empresas públicas) (SANTANA et al., 2015);

- *Tool Port*: neste modelo, a autoridade pública fornece a infraestrutura e a superestrutura. O setor privado é responsável pela prestação dos serviços;
- *Landlord Port*: a autoridade portuária detém a infraestrutura, enquanto que o setor privado é responsável pelos investimentos na superestrutura e por prestar os serviços portuários;
- *Private Port*: a infraestrutura, a superestrutura e a prestação dos serviços portuários são de responsabilidade do setor privado (MILANI et al., 2015).

A Tabela 1 expõem de forma sucinta as responsabilidades de cada ente (público e privado) quanto aos investimentos em infraestrutura e superestrutura, quanto a prestação de serviços (operação portuária e administração do porto), quanto propriedade da terra e os ativos portuários.

Tabela 1: Modelos de gestão portuária

Modelos de Gestão Portuário	Investimento em Infraestrutura	Investimento em Superestrutura	Operação Portuária	Administração do Porto	Propriedade da terra e do ativo
<i>Service Port</i>	Pública	Pública	Pública	Pública	Pública
<i>Tool Port</i>	Pública	Pública	Privado	Pública	Pública
<i>Landlord Port</i>	Pública	Privado	Privado	Pública	Pública
<i>Private Service Port</i>	Privado	Privado	Privado	Privado	Privado

Fonte: Elaboração própria

Para Vianna Júnior (2009), o modelo de gestão portuário deve atender a cinco requisitos de qualidade e produtividade expressos por meio de indicadores de desempenho;

- **Interoperabilidade:** é um atributo essencial na realização de negócios e comunicação de comércio exterior, implementado por meio de *software* e pela rede mundial de computadores.
- **Rastreabilidade:** é um atributo de qualidade dos produtos, principalmente os produtos alimentícios, onde a informação de origem e qualidade do produto são parâmetros que interferem na saúde e qualidade de vida da população, tais como a utilização de sementes transgênicas, de agrotóxicos e entre outros.
- **Segurança:** este é um atributo presente nos processos logísticos e de produção, principalmente nos mercados externos. Este atributo é dividido em duas partes; *safety* e *security*. Segundo o mesmo autor, o conceito sobre *safety* é o de segurança para

acidentes não intencionais que podem ser evitados a partir de medidas preventivas e, caso aconteça, por medidas de contingenciamento. Já *security*, se refere a segurança contra atos terroristas, ilícitos e incidentes pessoais.

- **Confiabilidade:** é o atributo que determina a probabilidade da certeza que determinada ação, ou componente de um sistema, ou evento ocorrerá conforme o previsto/planejado. Ou seja, a confiabilidade de um sistema é proporcional à sua previsibilidade; quanto mais previsível for, mais confiável será o sistema.
- **Proteção ao meio ambiente:** atributo que diz respeito ao impacto ambiental oriundo das atividades portuárias que, quando não gerenciado de forma adequada, resulta na degradação do ambiente ao redor do porto. São exemplos, a poluição das águas, a destinação dos resíduos de embarcações em locais inadequados, a poluição do ar, contaminação do solo, proliferação de vetores (ratos, baratas, entre outros) e entre outros (GUEDES, 2005).

O governo brasileiro adotou o modelo *Landlord Port* para a exploração do seu sistema portuário. Desta forma, a iniciativa privada é responsável pela superestrutura e pela operação portuária, por meio de arrendamento da instalação portuária ou concessão do porto organizado (SEP/PR, 2010).

O processo de arrendamento e concessão é de responsabilidade da ANTAQ. Esse é realizado por meio de edital de licitação pública, onde são apresentados aos interessados; as responsabilidades das partes, o objeto, a área e o prazo a ser arrendado/concessionado, os critérios, indicadores, fórmulas e parâmetros que definem a qualidade do serviço prestado, entre outros, conforme determina a Lei nº 12.815/2013 (BRASIL, 2013).

Sendo assim, é possível concluir que os modelos de gestão portuário são determinantes para o desempenho dos serviços prestados no porto organizado, cujas atividades não se limitam apenas à movimentação da carga propriamente dita, mas também ao tratamento de suas externalidades, como por exemplo, à geração de resíduos sólidos.

### *2.2.1 Operações Portuárias*

No transporte marítimo, a tarefa principal dos portos é carregar e descarregar os bens transportados pelas embarcações, utilizando equipamentos específicos dada a peculiaridade de cada tipo de carga, na interface com outros modos de transportes, que são; ferroviário, rodoviário e fluvial (SANTOS e KITZMANN, 2016).

Segundo a Lei nº 10.333/2001 (BRASIL, 2001), a operação portuária é definida como a movimentação de bens no interior do porto organizado, realizado por operador portuário. Assim, a operação portuária é um conjunto complexo de tarefas inter-relacionadas, tais como, movimentar de forma manual os bens, içá-las, conferir, arrumar, entre outros (MTE, 2001).

Sousa Júnior (2010) separa as atividades portuárias segundo funções externas e internas. Segundo o mesmo autor, as funções externas são divididas em três grupos de atividades, que são:

- Destinadas aos navios: Diz respeito aos serviços prestados às embarcações ao chegarem no porto, cujas atividades são realizadas pelos práticos e rebocadores.
- Realizadas na “interface” mar-terra, isto é, na região onde ocorre o carregamento ou o descarregamento das cargas situadas nos navios.
- Realizadas em terra como por exemplo, a movimentação da carga do ponto de atracação até os pátios e armazéns.

As funções internas são aquelas que permitem a execução adequada das funções externas com o intuito de se obter o melhor custo-benefício tais como, “as funções econômicas, físicas, financeiras, sociais, comerciais e de desenvolvimento” (SOUSA JÚNIOR, 2010).

Seguindo esta linha conceitual, Bichou e Gray (2005) afirmam que as operações portuárias se dividem em dois tipos de serviços; relacionados com a carga e os relacionados com os navios. Os serviços portuários relacionados aos navios são executados no mar (dragagem, praticagem, amarração/desamarração, entre outros) e na interface mar-terra (atracação, manutenção, abastecimento e entre outros) (MILANI et al., 2015).



Os serviços portuários relacionados com a carga também apresentam interface mar-terra (arrumar, carregar, descarregar e entre outros) e na terra (consolidação da carga, armazenamento e distribuição) (BICHOU e GRAY, 2005; MILANI et al., 2015).

Monteiro (2015) classifica os serviços portuários em;

- Atividades de controle: para auxílio no acesso ao porto, sinalização, proteção marinha, reboque, gestão do tráfego de navios, serviços de emergência, amarração, armazenagem e movimentação dos bens, inspeção e alfândega, entre outros;
- Conservação da infraestrutura; incluindo a manutenção dos acessos ao porto, reparação e manutenção dos equipamentos e dos navios, além da limpeza e da retirada dos resíduos dos navios;
- Serviços; como os de informação e gestão (WORLD BANK, 2007).

As operações portuárias são distintas conforme a natureza da carga movimentada no porto. Para isto, é necessário um conjunto de equipamentos e procedimentos operacionais específicos. Desta forma, Goes Filho (2010) classifica os portos quanto à sua função e apresenta suas principais características considerando a natureza da carga movimentada;

- Carga Geral: portos que utilizam os guindastes e empilhadeiras para movimentar sua carga e dispõe de armazéns e pátios como locais para acondicionar seus produtos;
- Granel Sólido: portos que utilizam correias transportadoras, empilhadeiras, recuperadoras, carregadeiras de navio e/ou viradores de vagão para movimentar sua carga e dispõe de amplas áreas de estocagem e acostagem contínua ou descontínua;
- Granel líquido: os equipamentos utilizados na movimentação deste tipo de carga são os oleodutos (instalações de bombeamento) e dispõe de acostagem descontínua;

As atividades portuárias tem potencial impacto de ordem social, econômico e, principalmente, ambiental (FREITAS, 2015). O impacto ambiental resultante das atividades portuárias é tal, que a legislação ambiental brasileira passou a considerar as atividades portuárias como potencialmente poluidora (BRASIL, 2000).

A partir disto, uma série de normas, resoluções e legislações (nacionais e internacionais) foram desenvolvidas com o objetivo de prover orientações e instrumentos legais que sirvam

para mitigar os impactos ambientais advindos do setor portuário. Esses instrumentos normativos serão detalhados na próxima subseção.

### **2.3 Gestão de Resíduos nos Portos**

Freitas et al. (2016b) afirmam que a geração de resíduos portuários pode estar relacionada à ineficiência (ou baixa eficiência) técnica e/ou operacional das instalações portuárias. Além disto, os resíduos portuários podem ser de origem de materiais utilizados no processo no acondicionamento das cargas, tais como, *pallets*, plásticos, entre outros (FREITAS et al., 2016).

Diante disto, faz-se necessário definir resíduos sólidos, a partir do artigo 3º inciso XVI da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sancionada na forma da lei nº 12.305/2010;

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível; (BRASIL, 2010)

Além disto, Gaudêncio et al. (2015) afirmam que a geração de resíduos sólidos é consequência do consumo em excesso de produtos, especialmente de produtos não duráveis. O mesmo autor afirma que o conceito de resíduos sólidos está relacionado diretamente com os impactos ambientais e sociais, que são consequência das ações humanas sobre o ambiente, dado o aumento e acúmulo dos resíduos sólidos em locais inadequados para o destino final, tal como os lixões.

Para conseguir mitigar a geração dos resíduos é necessário que se defina gestão de resíduos. Vasconcellos (2006) entende que a gestão de resíduos é composta de um conjunto de processos de administração de resíduos, em que considera sua qualidade, origem, composição, características, formas e meios de tratamento ambientalmente adequado.

A Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos – define gestão de resíduos como um conjunto de ações orientada para a busca das soluções dos resíduos sólidos, onde

é considerado as dimensões políticas, econômicas, ambiental, cultural e social (BRASIL, 2010).

No setor portuário, Freitas et al. (2016a) afirmam que as principais fontes de geração de resíduos nos portos são; as áreas arrendadas, as áreas não arrendadas e as embarcações. Entretanto, Pereira et al. (2014) apresentam as fontes geradoras de resíduos nos portos da seguinte forma;

- Embarcação: os resíduos gerados pelas embarcações são de acordo com as atividades administrativas, de suporte, manutenção e operação das embarcações. Entretanto, a quantidade de resíduos gerados depende do tamanho e da capacidade da embarcação, assim como da quantidade de tripulantes, do tipo de transporte (carga ou passageiro), e das características dos equipamentos utilizados nas operações;
- Instalação portuária: as diversas atividades portuárias que ocorrem em terra tais como, operação nos terminais, refeitórios e cozinhas, setor de suporte e manutenção, áreas administrativas, entre outros (PEREIRA et al., 2014).

Para identificar as fontes geradoras de resíduos, Rocha (2016) subdividiu em 20 (vinte) perímetros a área do porto organizado, identificando os terminais e suas respectivas atividades operacionais e, conseqüentemente, os tipos de resíduos encontrados. Com isso, a autora classificou os tipos de resíduos encontrados como:

- a. Resíduos administrativos e de apoio/manutenção; são aqueles gerados nos escritórios, na poda de gramados/canteiros/árvores, de varrição e de manutenção de máquinas;
- b. Resíduos dispersos; são aqueles encontrados na faixa do cais, resultado da operação portuária (carga e descarga da mercadoria);
- c. Resíduos de bordo, resíduos acumulados nas embarcações durante o traslado, tais como esgoto sanitário, resíduos domésticos, água oleosa, água de lastro (FREITAS, 2015).

Os resíduos gerados pelos navios podem ser categorizados da seguinte forma (FREITAS, 2015; VALOIS, 2009);

- Resíduo doméstico: em geral, são restos de comida, plásticos, latas, garrafas, louças, copos quebrados, papel, papelão e resíduos de enfermagem;

- Resíduo de manutenção: estopas e panos oleosos, restos de peças de manutenções, peças danificadas, material de embalagem (papel, plásticos, metal, entre outros), cinzas e refratários, restos de tinta, entre outros;
- Resíduo operacional associado à carga: calços e escoras para a carga, *pallets*, lonas e coberturas para a carga e correias de amarração da carga.

Segundo IPEA (2012), os tipos de resíduos gerados em portos são, em geral;

- Restos de cargas;
- Embalagens (*pallets*, lâminas de plásticos, cartões);
- Resíduos domésticos dos setores sociais (cantinas, oficinas, lavanderias, sanitários);
- Lubrificantes e hidrocarbonetos usados, filtros, vernizes, pinturas, solventes e baterias de manutenção de máquinas e infraestrutura; e
- Restos de mercadorias estivadas.

Os impactos ambientais advindos do setor portuário podem modificar, de forma negativa, o meio ambiente em que se situa. Além disto, a influência dos portos vão além dos limites das fronteiras do porto organizado, logo, os impactos ambientais de suas atividades também influenciam no desenvolvimento econômico e na dinâmica das regiões em que se situam (JESUS, 2015).

Sendo assim, torna-se essencial a adoção de normas de boas práticas internacionalmente reconhecidas, como o *Green Ports* ou Portos Verdes, para o desenvolvimento sustentável dos portos a partir de ações que visam: a gestão de recursos energéticos, monitoramento da qualidade da água, do solo e do ar, assim como, da gestão dos resíduos (JESUS, 2015).

Os impactos ambientais são efeitos da ação do ser humano no meio ambiente e pode ser negativo ou positivo. Os impactos positivos são àqueles em que as ações apresentam resultados que beneficiam o meio ambiente. No que se refere à impactos negativos, Jesus (2015) afirma que é quando há “rompimento do equilíbrio ecológico”, por meio da contaminação do meio ambiente, exaustão dos recursos naturais e a degradação dos ecossistemas (JESUS, 2015, p. 12).

Rocha (2016) afirma que um dos principais fatores que causam impactos ambientais negativos é a geração de resíduos resultante das atividades portuárias, logo, suas quantidades estão diretamente relacionadas com a movimentação das cargas. Ou seja, quanto maior a quantidade de bens movimentados no porto, maior será a quantidade de resíduos gerados.

Para Jesus (2015), os impactos ambientais das operações portuárias (manuseio, transporte e armazenamento da carga), assim como os serviços prestados no porto (abastecimento das embarcações e manutenção da infraestrutura dos navios, dos equipamentos e veículos em geral), ocorrem quando estas ações são executados de forma inadequada, o que pode gerar resíduos sólidos e líquidos, lançamento de efluentes em corpos d'água, entre outros.

A disposição inadequada destes resíduos representa uma ameaça à saúde e ao meio ambiente. Os resíduos orgânicos (restos de alimentos ou de carga) podem atrair vetores nocivos, como, ratos, baratas, pombos, entre outros, acarretando danos à saúde pública (FREITAS, 2015; FREITAS et al., 2016c).

Pallis *et al.* (2017) afirmam que do total de resíduos despejados em águas internacionais, 20% são resíduos gerados nas embarcações. Em vista disto, entidades dos setores público e privado se movimentaram na direção de criar regras para adequar o gerenciamento dos resíduos gerados nas embarcações.

No âmbito das águas internacionais, a IMO – *Internacional Maritime Organisation* – elaborou a regulamentação e os requisitos que definem os tipos de resíduos que podem ser despejados nos oceanos, por meio dos anexos da MARPOL 73/78. No âmbito de cada nação, cabe ao próprio país elaborar e fazer valer as regras que julgar ambientalmente adequadas em seu território (PALLIS et al., 2017).

Diante deste cenário, em 1993, o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) passou a ser exigido e, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) por meio da Resolução nº 05/1993, que especifica o gerenciamento dos resíduos sólidos em portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários, apresenta as ações para o manejo adequado dos resíduos, considerando aspectos da geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final (CONAMA, 1993; SILVA, 2014).

A legislação ambiental que se aplica ao setor portuário, no que tange aos resíduos sólidos, foi compilada na Tabela 2 a partir da publicação de Freitas et al. (2013)

Tabela 2: Síntese do levantamento da legislação e normas acerca dos resíduos sólidos aplicado nos portos brasileiros

Abrangência	Legislação e Resolução
Normas Gerais sobre Resíduos Sólidos	Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e Decreto Nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 – Regulamenta a Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010
	ABNT NBR 10004/2004 – Classificação Resíduos Sólidos
	Resolução CONAMA 452, de 02 de julho de 2012 – Dispõe sobre os procedimentos de controle de importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimento Transfronteiriço de Resíduos Perigosos e seu Depósito.
	Resolução CONAMA Nº 2, de 22 de agosto de 1991 – Dispõe sobre o tratamento a ser dado às cargas deterioradas, contaminadas ou fora de especificações.
Normas Específicas sobre o Resíduos Sólidos Portuários	Resolução CONAMA Nº 5, de 5 de agosto de 1993 – Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários
	Resolução RDC ANVISA 342/2002 – Institui e aprova o Termo de Referência, em anexo, para elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos a serem apresentados a ANVISA para análise e aprovação. (Revogada)
	Resolução - RDC ANVISA Nº 72, de 29/12/2009 – Regulamento Técnico que visa à promoção da saúde nos portos de controle sanitário em território nacional e embarcações que por eles transitam.
Normas Específicas sobre os Resíduos Sólidos de Embarcação	Convenção MARPOL 1973/1978 – Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios (Anexos I, II, III, IV e V).
	Resolução ANTAQ Nº 1.766, de 23 de julho de 2010 – Aprova a Norma que estabelece as atividades executadas nos Portos e Terminais Aquaviários por Empresas Brasileiras de Navegação autorizadas a operar na Navegação de Apoio Portuário
	Resolução ANTAQ Nº 2.190, de 28 de julho de 2011 – Aprova a norma para disciplinar a prestação de serviços de retirada de resíduos de embarcações.
Fonte: Adaptado de Magrini (2012)	

Vale destacar na Tabela 2, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) por ser o marco legal no que se refere à gestão dos resíduos sólidos. Essa dispõe de instrumentos e de

diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Independente da necessidade de atendimento das legislações e normas ambientais, a gestão dos resíduos portuários é uma estratégia que possibilita agregar valor às operações portuárias, além de possibilitar a redução das perdas das cargas nas operações de carregamento e descarregamento.

Para Freitas (2015), a eficácia do gerenciamento dos resíduos sólidos gerados nas atividades portuárias exige que conceitos sejam assimilados pelos tomadores de decisão, quanto a caracterização dos resíduos sólidos, quanto ao grau de periculosidade, quanto a definição das alternativas de prevenção, quanto ao controle da geração dos resíduos e quanto as alternativas para a destinação ambientalmente adequados a serem consideradas.

#### **2.4 Avaliação de Desempenho nos Portos Marítimos**

Num ambiente de mercado competitivo, as organizações visam a excelência nas suas atividades, a fim de aumentar a qualidade de seus serviços e a conquista de novos mercados consumidores (LEAL JUNIOR, 2010). Para que isto ocorra, é essencial avaliar o desempenho dos processos organizacionais, visando aferir a qualidade na prestação dos serviços e a satisfação do cliente.

Para Barros (2013), o grau de satisfação do cliente está diretamente relacionado com o nível de serviço prestado. Ou seja, identificar as necessidades do cliente é fundamental para elevar, e manter, o nível de serviço e, conseqüentemente, influenciar de forma positiva na satisfação do cliente. Ainda o mesmo autor, a manutenção do nível de serviço no comércio internacional gira em torno da integridade, do tempo e da confiabilidade na entrega do produto ao cliente.

Yunting (2012) define avaliação de desempenho como o resultado dos procedimentos organizacionais, o desempenho real. Além disto, Câmara (2006) afirma que avaliar o desempenho abastece o tomador de decisão de informações essenciais que influenciam nas decisões e permite direcionar ações que permitam maximizar os resultados alcançados.

No serviço de transportes entende que a avaliação de desempenho compreende “um conjunto de procedimentos que permite avaliar, analisar e descrever” os procedimentos adotados nas operações de movimentação de bens, por meio de “critérios pré-definidos e visando à melhoria desse serviço” (D’AGOSTO, 1999; LEAL JUNIOR, 2010, p. 34).

Para Dutra *et al.* (2015), a avaliação de desempenho tem uma função estratégica em todas as áreas da gestão empresarial que, diante de um cenário altamente competitivo, pode ser considerado como “medida estratégica de sobrevivência das organizações” (GIACOMELLO e OLIVEIRA, 2014).

Além disto, Nascimento *et al.* (2011) afirmam que os objetivos e as metas das organizações influenciam à avaliação de desempenho, refletindo, assim, nas atividades organizacionais, tanto no âmbito estratégico quanto no operacional.

Entretanto, Zary (2015) e Dutra (2003) afirma que a avaliação de desempenho é uma ferramenta que permite interpretar as medidas de desempenho, traduzindo um dado fenômeno na forma quantitativa ou qualitativa, onde um valor é atribuído naquilo que é considerado relevante para a organização.

Neste contexto, a avaliação de desempenho pode ter um enfoque sob o ponto de vista do embarcador, transportador, governo, entre outros. Uma vez que estes diferentes atores possuem, é possível que os resultados destas avaliações sejam diferentes umas das outras (LEAL JUNIOR, 2010).

Após isto, Leal Junior (2010) afirma que é necessário determinar a categoria a ser baseado na avaliação que, em geral, são; eficácia; eficiência e efetividade. Além disto, deve-se determinar a perspectiva da avaliação do desempenho, como por exemplo, operacional, econômico-financeiro, ambiental, entre outros.

Hanones e Monteiro (2017) afirmam que avaliar o desempenho de um porto não é uma tarefa simples, dada à complexidade e abrangência das movimentações das cargas. Ainda que o



setor portuário seja marcado por esta complexidade, os objetivos e as metas da avaliação do desempenho devem ser claros e explícitos (HANONES e MONTEIRO, 2017).

A tarefa de medir o desempenho organizacional é considerada de tal relevância, que esta prática é observada em diversas organizações dos mais variados setores econômicos, pois, permite que os gestores identifiquem as ineficiências nos processos organizacionais, além da comparação entre as organizações do mesmo segmento de mercado (KARIM e ARIF-UZ- ZAMAN, 2013; SANTOS, 2013).

#### *2.4.1 Indicadores e Medidas de Desempenho em Portos Marítimos*

Para medir o desempenho, é necessário utilizar um conjunto de indicadores de desempenho que permitam caracterizar e representar os processos organizacionais, observar o comportamento das possíveis respostas e resultados e indicar as possíveis formas de tratamento e análises a serem adotadas visando maximizar os resultados organizacionais (MONTEIRO, 2015; TISCOSKI, 2016).

A definição dos indicadores relevantes é extraída a partir de um banco de dados que contém informações qualitativas ou quantitativas que possibilitam avaliar o desempenho dos processos organizacionais (LIMA, 2004). Para Dutra et al., (2014), os indicadores permitem que as informações de fenômenos complexos estejam organizadas e simplificadas para que gestores e usuários busquem a melhoria do processo de comunicação e entendimento destas informações.

Para Zary (2015), os indicadores são fundamentais na avaliação de desempenho, pois são utilizados pelos gestores na obtenção de maior compreensão e entendimento de uma dada situação, resultando na tomada de decisão mais adequada diante dos problemas que surgem no cotidiano das organizações. Sendo assim, é possível afirmar que o êxito da avaliação do desempenho na organização está diretamente relacionado com a adequada construção dos indicadores utilizados (NASCIMENTO et al., 2011).

Nas operações portuárias, os indicadores de desempenho permitem evidenciar os aspectos que resultam na ineficiência na gestão dos portos. Uma das formas de se medir o desempenho

é por meio da produtividade, que é definido como a razão entre a quantidade de saídas (*outputs*) e a quantidade de recursos (*inputs*) utilizados no processo produtivo (VIEIRA et al., 2014).

Em geral, os portos medem sua produtividade a partir da quantidade de bens descarregados em relação a um período de tempo. A título de exemplo, os portos que movimentam contêiner medem a sua produtividade a partir da quantidade de contêineres movimentados por hora (MPH), no que evidencia por avaliar a eficiência da operação portuária (LUZ, 2015)

Além disto, é importante considerar outros indicadores de desempenho, como por exemplo, o “nível de satisfação do cliente” com o serviço prestado, o “grau de atendimento às especificações internas ou expectativas externas”, conhecida por eficácia (VIEIRA et al., 2014, p. 795). Segundo Mello *et al.* (2005), a eficácia diz respeito apenas ao que é produzido, e não ao consumo de *inputs* na produção.

Para Mello et al. (2005, p. 2522), a eficiência é um “conceito relativo”, onde é comparada a produção real em relação a esperada, para os recursos disponíveis em ambos os casos. Para Acosta *et al.* (2011) e Minato (2006), a comparação entre os valores observados e os valores ótimos (valores máximos almejados, ou, segundo Minato (2006, p. 20), “o máximo produto potencial alcançável”) são conhecidos por eficiência técnica.

Em termos matemáticos, a eficiência técnica é apresentada pela razão entre os *outputs* observados e os *outputs* ótimos, dado os *inputs*, ou, de forma análoga para os *inputs*; a razão entre os valores ótimos de *inputs* (a quantidade mínima necessária) e os valores observados, considerando os *outputs* (ACOSTA et al., 2011; MINATO, 2006; TISCOSKI, 2016). O resultado da eficiência técnica será, sempre, menor ou igual a 1 (um), onde o valor 1 (um) representa à eficiência técnica (ACOSTA et al., 2011).

#### 2.4.2 Eficiência na Operação Portuária

A eficiência nas operações portuárias é influenciada tanto pela infraestrutura disponível no porto, quanto pelo aprimoramento organizacional e pelo gerenciamento interno (KIRCHNER, 2013).

Para ser eficiente, é preciso que o porto assegure que o serviço de movimentação das cargas seja executado da melhor forma possível, sem que ocorram avarias e/ou acidentes em geral, e no menor tempo possível. Para isto, é necessária a disponibilidade de equipamentos modernos e adequados às cargas dos clientes. Desta forma, é possível reduzir o tempo de espera dos navios, agilizar o desembarço das cargas, reduzir custos operacionais, entre outros (MILANI et al., 2015).

Kirchner (2013) e Monié e Vidal (2006) destacam que os setores produtivos disponíveis no entorno dos portos (*hinterland*) tem influência direta na eficiência e na dinâmica dos portos em si. Para Song e Geenhuizen (2014), os portos são catalisadores econômicos para as regiões em que se situam, gerando benefícios econômicos e riqueza socioeconômica por meio de serviços e atividades manufatureiras.

Os benefícios da eficiência portuária não se limitam à movimentação de cargas, onde os efeitos disto se apresentam de forma direta e indireta em outras atividades do porto, tais como: seguro marítimo, logística, finanças, entre outros (MILANI et al., 2015).

Vieira (2013) apresenta a definição de cadeia logístico-portuária a partir da relação entre as atividades desenvolvidas no porto e uma série de outras atividades que ultrapassam os limites da área do porto organizado. Sendo assim, a eficiência do porto depende da governança que a autoridade portuária tem sobre os diversos atores que se situam neste cadeia (VIEIRA, 2013)

Dada à importância dos portos na cadeia logístico-portuária, González e Trujillo (2008) e Ensslin *et al.* (2015) afirmam que a eficiência portuária influencia, em grande parte, a competitividade do país em que se situa, influenciando diretamente nos preços por serviços de transportes. Para González e Trujillo (2008), a eficiência portuária resulta em menores tarifas nos serviços dos portos, o que, reduz os custos em transportes e, conseqüentemente, diminui os preços dos produtos para o consumidor final.

Além do aspecto financeiro, outros indicadores são considerados para determinar a eficiência operacional do porto. Um dos mais relevantes é o tempo médio de permanência

dos navios nos portos brasileiros, pois, esta variável representa o resultado final de toda a operação do porto, desembarço da carga, carregamento/descarregamento, abastecimento do navio, entre outros. Segundo Gobbi et al. (2015), a média de permanência dos navios nos portos brasileiros é de 5,5 dias, quase o dobro da média mundial (2,9 dias).

### 3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

#### 3.1 Conceitos e Definições

A Análise Envoltória de Dados (DEA) foi proposta por Charnes *et al.* (1978) com o objetivo de avaliar a eficiência das escolas primárias que integravam um programa estudantil nos Estados Unidos da América (EUA), em que foram considerados três *outputs*, tais como, *scores* aritméticos, melhoria de autoestima em testes psicológicos e habilidades psicomotora. E como *inputs* foram considerados o número de professores-hora e o tempo gasto pela mãe em leituras com o filho (CHARNES et al., 1978; LINS e MEZA, 2000).

Segundo Lins e Meza (2000), o objetivo do método em questão é desenvolver um modelo matemático que estime a “eficiência técnica sem recorrer ao arbítrio de pesos para cada variável de *input* ou *output*”(LINS e MEZA, 2000).

Com a difusão deste método com o passar dos anos, sua aplicação foi observada em diversos segmentos de mercado, tais como, nas indústrias, instituições financeiras, nos portos e terminais portuário, entre outros (LINS e MEZA, 2000; SOUSA JÚNIOR, 2010).

Segundo Lins e Meza (2000), o Método DEA possibilita utilizar diversos tipos de dados reais de variáveis de *input* e *output* cujas unidades de medidas podem ser diferentes entre si, desde que, tais variáveis sejam iguais para todas as unidades tomadoras de decisão (DMU – *Decision Making Units*) (COOPER et al., 2006). Sendo assim, faz-se necessário definir DMU (*Decision Making Units*) que é; qualquer tipo de empreendimento; público, privado, comércio, indústrias, escolas e universidades, bancos, conjuntos habitacionais, portos e aeroportos, entre muitos outros (BERTOLOTO e MELLO, 2011; COOPER et al., 2006; SOUSA JÚNIOR, 2010). Ou seja, se o tomador de decisão utiliza como *output* a carga movimentada (tonelada) de um conjunto de terminais portuários para analisar a eficiência operacional, a unidade de medida nesta variável deve ser a mesma para todas as DMUs. Além disto, o método considera os *outliers*, onde é possível analisá-los como um *benchmark* a ser estudado pelas demais DMUs (LINS e MEZA, 2000).

Segundo Charnes *et al.* (1978), DEA é um método não paramétrico com o objetivo de avaliar a eficiência técnica entre determinados empreendimentos (DMUs), cujas características

operacionais devem ser similares, utilizando múltiplos *inputs* para produzir múltiplos *outputs* (LINS e MEZA, 2000; PIRES e SILVA, 2016).

Neste método é possível analisar as DMUs individualmente e em relação ao conjunto selecionado. Tal análise é feita a partir da distância entre a fronteira eficiente de produção e a DMU em que está analisando (ou observada –  $DMU_o$ ). Entende-se por fronteira eficiente de produção (ou função fronteira de produção) a região do gráfico que é dada pela máxima quantidade de *outputs* que podem ser obtidos a partir dos *inputs* utilizados (ACOSTA et al., 2011; CRAVEIRO, 2015; LINS e MEZA, 2000).

A partir disto, o método DEA atribui pesos aos *inputs* e *outputs* para cada DMU, considerando que estas estejam operando de forma a otimizar seus recursos. Em seguida, as DMUs são avaliadas em relação ao conjunto de seus pares selecionados. Desta forma, a(s) DMU(s) que obtiverem resultados maiores na comparação com as demais se situarão na fronteira eficiente de produção, sendo, assim, considerada(s) referencia(s) para as demais. (ACOSTA et al., 2011)

A quantidade de DMUs e de variáveis devem ser adequadas para que não haja distorções nos resultados do modelo DEA. A seleção de um pequeno número de DMUs pode gerar uma grande quantidade de DMUs eficientes, da mesma maneira que uma grande quantidade de variáveis pode resultar numa baixa discriminação das DMUs eficientes em relação às ineficientes (FERNANDES, 2010). Para isto, Tiscoski (2016) considerou uma regra que estabeleceu a quantidade de *inputs* ( $m$ ) e de *outputs* ( $n$ ) utilizados nas DMUs escolhidas;

$$DMUs \geq \text{Max}\{(m \times n); (3 \times (m \times n))\}$$

Equação 1

As vantagens de se utilizar o método DEA, para medir a eficiência técnica, estão na possibilidade de se utilizar múltiplos *inputs* e *outputs*, cujas unidades de medidas podem ser diferentes entre si sem que o cálculo da eficiência se altere (FONTES, 2006).

A fronteira eficiente, apresentada pelo modelo DEA, é uma envoltória das DMUs observadas e, com isso, não é preciso assumir qualquer hipótese acerca da função de produção, ou seja, os processos de transformação dos *inputs* em *outputs* (FONTES, 2006). Lins e Meza (2000)

destaca que a flexibilidade nos pesos é uma das maiores vantagens do método DEA, pois permite identificar as DMUs ineficientes “que têm uma baixa performance com seu próprio conjunto de pesos” (ACOSTA, 2008, p. 51). Além disto, o método DEA apresenta um índice de desempenho para cada DMU em relação à amostra, o que possibilita diferenciar as DMUs eficientes das ineficientes. Das DMUs ineficientes, o modelo calcula o nível de ineficiência individual, apresentando, assim, as deficiências destas DMUs (ACOSTA, 2008).

As desvantagens do método DEA foi apresentado por Souza (2015) onde é possível destacar a sensibilidade dos resultados quanto à inclusão ou retirada de alguma variável do problema (*input* e *output*), além do modelo não considerar as diferenças entre os ambientes externos das DMUs em análise, o que pode apresentar resultados falsos sobre as habilidades gerenciais das DMUs, entre outros.

Durante o levantamento bibliográfico acerca do método mais adequado para mensurar a eficiência dos portos marítimos, observou-se que não há consenso entre os autores. No levantamento bibliográfico observou-se que, em geral, os autores consultados simpatizaram mais com os métodos de fronteira estocásticas, onde o *Stochastic Frontier Analysis* (SFA) – método paramétrico – e os métodos de fronteira determinística, onde o método DEA se encontra (método não paramétrico) (FERNANDES, 2010; RIOS, 2015).

Acosta (2008) destaca que os métodos paramétricos estimam a fronteira a partir da quantidade máxima de *output* possível, considerando a quantidade de *inputs* disponíveis. A partir disto, “a fronteira é estimada estatisticamente, baseada na análise de regressão”, cujos resultados obtidos são mais agregados pois são considerados valores médios e não os valores reais (ACOSTA, 2008, p. 41).

Uma das vantagens do SFA em relação aos modelos determinísticos é que este incorpora um termo de erro o que possibilita identificar os “choques aleatórios” o que pode ser confundido com ineficiência (RIOS, 2015, p. 47). Entretanto, uma das desvantagens deste modelo é a necessidade de especificar formas funcionais (parâmetros) explícitas para representar a função produção (tecnologia) a serem estimados (ACOSTA, 2008; RIOS, 2015).

### 3.2 Modelos Clássicos DEA

O método DEA têm dois modelos clássicos; CCR (conhecido por CRS – *Constant Return to Scale*) e o BCC (conhecido por VRS – *Variable Return Scale*). O modelo CCR (sigla para Charnes, Cooper e Rhodes) opera com retornos constantes de escala, ou seja, a quantidade de *inputs* consumidos nas operações é proporcional à obtenção dos *outputs*. Na forma gráfica, este modelo apresenta uma superfície linear, não paramétrica, em que compreende os dados das variáveis das DMUs (MELLO et al., 2005).

Por outro lado, o modelo BCC foi desenvolvido por Banker *et al.* (1984) a partir do modelo CCR. Este modelo não considera a proporcionalidade entre as variáveis de *input* e *output*, inerente ao modelo CCR, a partir da substituição do axioma da proporcionalidade pelo axioma da convexidade (BERTOLOTO e MELLO, 2011; MELLO et al., 2005; MILANI et al., 2015).

Os modelos CCR e BCC apresentam a ótica dos multiplicadores e do envelope a ser apresentado ao longo desta seção. Além disto, o método DEA possibilita analisar o problema considerando duas orientações;

- Orientação a *output*: quando se deseja obter o máximo de produtos sem que se altere a quantidade de *inputs* utilizados; e
- Orientação a *input*: quando se deseja minimizar os *inputs* sem que se altere a quantidade de *outputs* (BERTOLOTO e MELLO, 2011).

#### 3.2.1 Modelo CCR

A formulação matemática do modelo CCR é apresentado por meio do Problema de Programação Fracionária, conforme é possível evidencia na Equação 2 a Equação 5 (LINS e MEZA, 2000).

$$Max h_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad \text{Equação 2}$$

$$s. t. \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \leq 1 \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{Equação 3}$$

$$u_j \geq 0, \forall j = 1, \dots, s, \quad \text{Equação 4}$$

$$v_i \geq 0, \forall i = 1, \dots, m, \quad \text{Equação 5}$$



Em que

$k$ : é a quantidade de DMUs

$i$ : é a quantidade de *inputs* de cada DMU

$j$ : é a quantidade de *outputs* de cada DMU

$h_0$ : é a eficiência da DMU em análise

$y_{j0}$ : é o valor do *output*  $j$  da DMU em análise

$x_{i0}$ : é o valor do *input*  $i$  da DMU em análise

$u_j$ : é o vetor peso atribuído ao *output*  $j$

$v_i$ : é o vetor peso atribuído ao *input*  $i$

Como é possível observar, as incógnitas da Equação 2 e Equação 3 dizem respeito ao valor dos pesos  $u_j$  e  $v_i$ , que por sua vez é interpretado como a importância relativa de cada variável, com o objetivo de maximizar a soma ponderada dos *outputs* (*output* “virtual”) em relação a soma ponderada dos *inputs* (*input* “virtual”), sujeita a restrição de que, o resultado desta divisão, seja menor ou igual a um, para todas as DMUs (LINS e MEZA, 2000). Logo, as eficiências variam de zero a um.

Além de assumirem a restrição de não negatividade, os valores dos pesos são dados para cada DMU em análise (ou DMU observada (DMU<sub>o</sub>)) e estes podem apresentar valores distintos entre si, conforme o valor dos *inputs* e dos *outputs* de cada DMU em particular.

A formulação matemática da Equação 2, Equação 3, Equação 4 e Equação 5 é um problema de programação não-linear e a solução para isto é tornar o denominador da Função Objetivo numa constante – ou seja, igualando-o ao valor um –, transformando o problema numa simples programação linear, conforme visto na Equação 6 a Equação 9 (LINS e MEZA, 2000);

$$Max h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \quad \text{Equação 6}$$

$$s. t. \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad \text{Equação 7}$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0 \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{Equação 8}$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall x, y \quad \text{Equação 9}$$

Esta formulação matemática é conhecida como Modelo dos Multiplicadores, pois as variáveis de decisão são os pesos  $u_j$  e  $v_i$ , e orientada a *input* (MELLO et al., 2005). Conforme já mencionado, a orientação a *input* determina que a eficiência deve ser atingida considerando à redução dos *inputs*. Esta formulação é melhor compreendida e visualizada pelo dual deste modelo, conhecido por Modelo do Envelope (Equação 10 a Equação 13) (COOPER et al., 2006; GUEDES et al., 2008).

$$Min h \quad \text{Equação 10}$$

$$s. t. h x_{i0} - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik} \geq 0, i = 1, \dots, r \quad \text{Equação 11}$$

$$y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, j = 1, \dots, s \quad \text{Equação 12}$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k \quad \text{Equação 13}$$

Em que;

$\lambda_k$ : são os pesos atribuídos as variáveis de *input* e *output* até a k-ésima DMU.

A ótica do *input* é a possibilidade de redução dos recursos disponíveis para atingir a eficiência máxima, em que  $h$  deve ser igual a um, formando, assim, a fronteira de eficiência.

De forma similar à orientação a *input*, o modelo DEA CCR orientado a *output* determina que a DMU<sub>o</sub> atinge à eficiência máxima aumentando a quantidade de produtos sem alterar

os recursos disponíveis. O valor dos pesos é multiplicado para todos os *outputs*, formando assim, a fronteira eficiente de produção. (RUBEM et al., 2015; SOUSA JÚNIOR, 2010).

Análogo a formulação matemática apresentada na orientação a *inputs*, o modelo CRS sob a ótica dos Multiplicadores e orientado a *output*, se obtém ao inverter o quociente do modelo CRS sob a ótica dos Multiplicadores orientado a *input* (Equação 14 a Equação 17) (GUEDES et al., 2008).

$$\min h_0 = \sum_{i=1}^s v_i x_{i0} \quad \text{Equação 14}$$

$$s. t. \sum_{j=1}^m u_j y_{j0} = 1 \quad \text{Equação 15}$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0 \quad k = 1, \dots, n \quad \text{Equação 16}$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall x, y \quad \text{Equação 17}$$

Como é possível observar, na Equação 14 a Equação 17 já linearizadas e as variáveis de decisão  $u_j$  e  $v_i$  são as mesmas que a orientação a *input*. Sendo assim, seu dual (Modelo do Envelope) é apresentado pela Equação 18 a Equação 21 (GUEDES et al., 2008; SOUSA JÚNIOR, 2010).

$$\text{Max } h \quad \text{Equação 18}$$

$$s. t. -h y_{j0} + \sum_{k=1}^n \lambda_k y_{jk} \geq 0, j = 1, \dots, s \quad \text{Equação 19}$$

$$x_{i0} + \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, i = 1, \dots, r \quad \text{Equação 20}$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k \quad \text{Equação 21}$$

### 3.2.2 Modelo BCC

Segundo Fernandes (2010), o modelo VRS surgiu a partir de uma variação do modelo CRS com o objetivo de tratar os casos de rendimento crescentes e decrescentes de escala na fronteira eficiente, onde é necessário incluir uma restrição adicional de convexidade ao modelo do envelope orientado a *input* (Equação 22 a Equação 26) e a *output* (Equação 27 a Equação 31) (GUEDES et al., 2008; MELLO et al., 2005).

$$\text{Min } h \quad \text{Equação 22}$$

$$\text{s. t. } hx_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik}\lambda_k \geq 0, i = 1, \dots, r \quad \text{Equação 23}$$

$$-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk}\lambda_k \geq 0, j = 1, \dots, s \quad \text{Equação 24}$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \quad \text{Equação 25}$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k \quad \text{Equação 26}$$

$$\text{Max } h_0 \quad \text{Equação 27}$$

$$\text{s. t. } x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik}\lambda_k \geq 0, \forall i \quad \text{Equação 28}$$

$$-h_0 y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk}\lambda_k \geq 0, \forall j \quad \text{Equação 29}$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \quad \text{Equação 30}$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k = 1, \dots, n \quad \text{Equação 31}$$

Segundo Mello *et al.* (2005), os duais do modelo VRS são resultados do Multiplicadores, orientados a *inputs* (Equação 32 a Equação 35) e a *outputs* (Equação 36 a Equação 39). Nestes modelos há duas variáveis duais  $u_*$  e  $v_*$  que são associadas à condição  $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$  e “são interpretados como fatores de escala” (MELLO et al., 2005, p. 2532).

$$Max h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + u_* \quad \text{Equação 32}$$

$$s. t. \sum_{i=1}^r x_{i0} v_i = 1 \quad \text{Equação 33}$$

$$- \sum_{j=1}^s y_{jk} u_j + \sum_{i=1}^r x_{ik} v_i + u_* \leq 0, \forall k \quad \text{Equação 34}$$

$$v_i, u_j \geq 0, u_* \in \Re \quad \text{Equação 35}$$

$$min h_0 = \sum_{j=1}^r x_{i0} v_i + v_* \quad \text{Equação 36}$$

$$s. t. \sum_{j=1}^s y_{j0} u_j = 1 \quad \text{Equação 37}$$

$$- \sum_{i=1}^r x_{ik} v_i + \sum_{j=1}^s y_{jk} u_j - v_* \leq 0, \forall k \quad \text{Equação 38}$$

$$v_i, u_j \geq 0, v_* \in \Re \quad \text{Equação 39}$$

### 3.3 Outputs indesejados

Os *outputs* indesejados são externalidades inerentes ao processo produtivo, tais como emissão de CO<sub>2</sub>, resíduos sólidos, acidentes, entre outros. Diante disto, é necessário que os dados desta variável sejam devidamente tratados por meio das seguintes abordagens, conforme apresentado por Tschaffon e Meza (2011);

- *Additive Inverse* (ADD): os *outputs* indesejados são convertidos numa variável desejada por meio da troca de sinais, expressa pela seguinte função:  $f(U) = -u$  (KOOPMANS, 1951)
- *Incorporating Undesirable Outputs as Inputs* (INP): nesta abordagem, os *outputs* indesejáveis são considerados como *inputs* na estrutura do problema. Além disto, esta abordagem permite que sejam adotados os modelos DEA CCR e BCC dependendo das escalas de operação das DMUs analisadas;
- *Multiplicative Inverse* (MLT): os *outputs* indesejáveis são incorporados na estrutura do problema por meio do inverso da variável em questão. Ou seja, esta abordagem

apresenta a seguinte função matemática  $f(U) = 1/u$ . A partir disto, o *output* indesejável torna-se um *output* desejável. Entretanto, esta abordagem não pode ser adotada caso o *output* indesejável apresente valor igual à zero.

- *Translation* (TR $\beta$ ): esta abordagem é similar à abordagem ADD, mas, adiciona um escalar positivo ( $\beta_i$ ) que seja grande o suficiente de modo que os resultados sejam positivos para cada DMU, cujos valores transladam. Entretanto, esta abordagem é válida somente para os modelos DEA BCC e Aditivo, tendo em vista que o modelo CCR não é invariante à translação. Desta forma, esta abordagem tem a seguinte função matemática:  $f(U) = -u + \beta$  (TSCHAFFON e MEZA, 2011).

### 3.4 Método *Network* DEA

Os modelos clássicos de DEA tratam as DMUs como uma caixa preta (*black box*), negligenciando os processos internos e as atividades de ligação (produtos intermediários) das DMUs, além de considerar apenas um único nível de avaliação (estágio) (GOMES JÚNIOR et al., 2014; OMRANI e KESHAVARZ, 2015).

Sendo assim, Färe e Grosskopf (2000) apresentaram um modelo DEA que permite avaliar os processos internos de transformação dos *inputs* e dos *outputs*, baseados nos modelos clássicos (TORRES et al., 2016). Os modelos DEA com múltiplos níveis surgiram a partir da necessidade de se analisar as eficiências dos diversos processos organizacionais, uma vez que os modelos DEA clássicos não tinham esta capacidade, sendo, então, uma das vantagens do modelo *Network*-DEA (NDEA) (FRANCISCO, 2013; LOPES, 2016).

Nos modelos em níveis (ou multinível), em geral, são formados por mais de um processo interligado, constituindo uma espécie de “rede”. Estas conexões apresentam estruturas em série, paralelo ou uma mistura destes dois (FRANCISCO, 2013; SANTOS, 2015).

A estrutura em série apresenta as variáveis com a seguinte configuração; *inputs* exógenos, variáveis intermediárias e *outputs* exógenos (LOPES, 2016). As variáveis intermediárias assumem o papel tanto de *input* quanto de *output*, pois, será o *output* no primeiro estágio e, conseqüentemente, o *input* no estágio subsequente (LEWIS e SEXTON, 2004).

Segundo Ebrahimnejad et al. (2014), os modelos *Network* DEA estruturados em série são divididos em duas categorias;

- Modelos de sistema fechados; as variáveis exógenas são encontradas apenas no primeiro estágio (*input*) e no último estágio (*output*). Nos estágios intermediários, utiliza-se os *outputs* do estágio anterior como *inputs* no estágio subsequente, conforme é possível observar na Figura 11; e
- Modelos de sistema abertos; as variáveis exógenas (*inputs* e/ou *outputs*) podem ser encontradas em cada um dos processos que compõem o sistema (Figura 12).

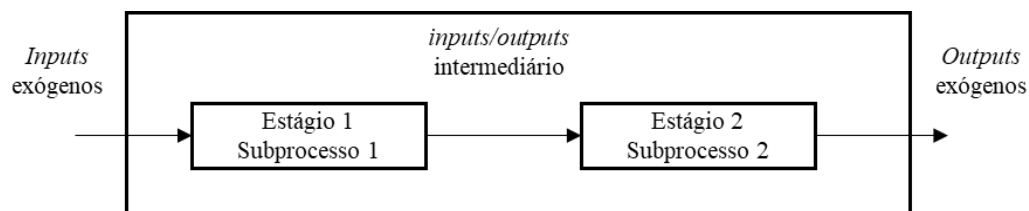


Figura 11: Modelo *Network Two-Stage* DEA estruturado em série fechado  
Fonte: Elaboração própria

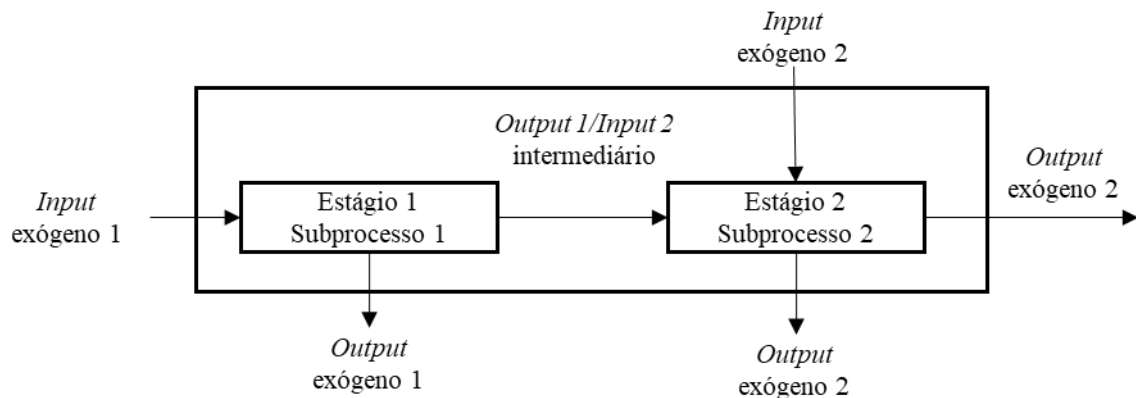


Figura 12: Modelo *Network Two-Stage* DEA estruturado em série aberto  
Fonte: Elaboração própria

Nos modelos de sistema estruturados em paralelo, as variáveis *inputs* e *outputs* são independentes em cada processo. Sendo assim, não há variáveis intermediárias, logo, os *inputs* e os *outputs* são sempre exógenos, conforme é apresentado na Figura 13 (LOPES, 2016).

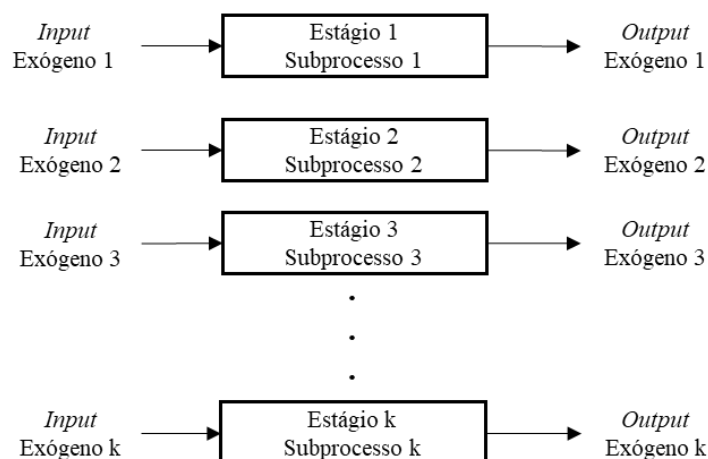


Figura 13: Modelo *Network* DEA estruturado em paralelo  
Fonte: Adaptado de (LOPES, 2016)

Por fim, o modelo *Network* DEA apresenta a estrutura mista quando o modelo não está estruturado em série e nem em paralelo, contemplando, assim, as duas estruturas (LOPES, 2016).

Além disto, Färe et al. (2007) apresentam três formas de se aplicar o modelo *Network* DEA, que são; tecnologias de produção dinâmica, tecnologias de produção estática e adoção tecnológica (mudança técnica incorporada). A tecnologia de produção dinâmica considera o espaço temporal discreto na análise, ou seja, os períodos de tempos da análise são distintos e não infinitos. O exemplo adotado pelos autores é o cultivo de batatas, onde uma parte da produção das batatas (*output*) do primeiro período de tempo é consumido e uma outra parte é utilizada como *input* na próxima estação de cultivo (segundo período de tempo) (Figura 14) (FÄRE et al., 2007).

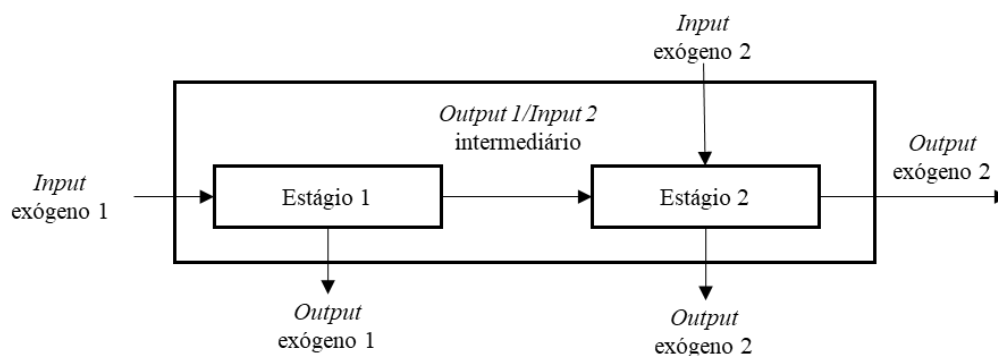


Figura 14: Modelo *Network* DEA considerando a tecnologia de produção dinâmica  
Fonte: (FÄRE et al., 2007)



A adoção de tecnologias pode ser formulada com base em dois equipamentos, dado que as tecnologias destes equipamentos são distintas entre si. Neste caso, os *inputs* são alocados acerca dos equipamentos, e, conseqüentemente, determinam qual a tecnologia a ser considerada nos sub processos. Em geral, isto é conhecido pelos economistas como “*embodied technical change*”<sup>2</sup> (FÄRE et al., 2007).

Por fim, a tecnologia de produção estática consiste numa quantidade finita de estágios conectados na forma de rede, conforme é possível observar na Figura 15. Este modelo considera que em cada DMU há processos internos que tem um conjunto de *inputs* e *outputs* que são relacionados entre si (TORRES et al., 2016). Além disto, este modelo fornece a estrutura básica para os demais modelos (modelo tecnológico de produção dinâmico e a adoção tecnológica) (FÄRE et al., 2007).

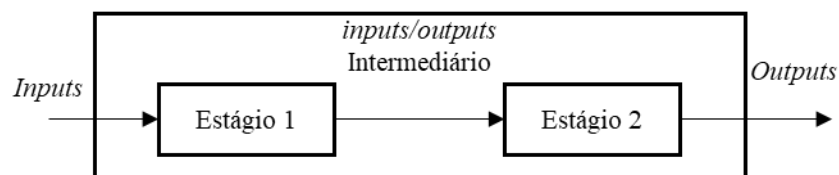


Figura 15: Modelo *Network Two-Stage* DEA  
Fonte: Adaptado de (SEXTON e LEWIS, 2003)

A título de exemplo, considera-se uma planta de produção de energia elétrica a base de queima de carvão. Num único estágio é gerado a energia elétrica e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), uma externalidade do processo. Os autores utilizam como *input* a quantidade de mão de obra e a emissão de SO<sub>2</sub>, como variável intermediária, e à geração de energia elétrica como *output* a ser maximizado. Ou seja, o problema de otimização considerado é analisar a eficiência das usinas elétricas, considerando à tecnologia desta que gera energia elétrica e reduz à emissão de poluentes no seu processo produtivo (FÄRE et al., 2007).

Kao e Hwang (2010) classificam os modelos *Network Two-Stage* DEA em independente, conectado e relacional. Na primeira abordagem, é reconhecido a existência de sub processos (estágios) no sistema (DMUs), mas as eficiências da DMU e dos estágios são calculados de

<sup>2</sup> Mudança técnica incorporada, na tradução livre.

forma independente, onde não há relação direta entre o desempenho dos estágios e da DMU (OMRANI e KESHAVARZ, 2015).

Em seguida, a abordagem conectada considera as interações entre os estágios para calcular a eficiência global da DMU. Entretanto, a eficiência de cada estágio não tem necessariamente relação direta com a eficiência global da DMU (KAO e HWANG, 2010; OMRANI e KESHAVARZ, 2015).

Por fim, na abordagem relacional apresenta a relação direta entre a eficiência global da DMU e dos estágios, por meio de restrições impostas na programação linear. A primeira publicação acerca do modelo relacional foi realizado por Kao e Hwang (2008) para avaliar um sistema que apresentou dois estágios conectados em série, onde a eficiência global do sistema foi calculada a partir do produto das eficiências obtida em cada estágio. Esta abordagem foi aprofundada por Kao (2009) ao considerar as estruturas em paralelo nos estágios conectados.

A principal diferença entre os modelos relacional e independente situa-se no fator multiplicador, onde, o modelo relacional requer o mesmo fator, enquanto que no modelo independente é permitido diferentes fatores multiplicadores no qual é utilizado em diferentes estágios (FRANCISCO, 2013; SANTOS, 2015).

#### 3.4.1 *Modelo Network Two-Stage DEA*

O modelo *Network Two-Stage DEA* – ou, simplesmente, *Two-Stage DEA* – analisa cada DMU em dois estágios, resultado da decomposição do processo de produção, cuja estrutura é em série fechada, ou seja, os *outputs* do primeiro estágio são os *inputs* do segundo estágio (BRÁS, 2015).

Este modelo foi utilizado por Seiford e Zhu (1999) para medir a rentabilidade e a liquidez de 55 bancos comerciais dos Estados Unidos (EUA). No primeiro estágio foram considerados a quantidade de funcionários, ativos e patrimônio líquidos como *input* e, como *outputs* intermediários, as receitas e os lucros. No segundo estágio, os *outputs* exógenos foram o valor de mercado, o retorno total para os investidores e o lucro por ação, para avaliar a negociabilidade.

Wanke (2013) utilizou o modelo *Two-Stage* DEA para medir a eficiência de 27 portos brasileiros, onde foi considerado, no primeiro estágio, a infraestrutura física, tendo como *inputs*; o número de berços, a área de armazenagem e a área do pátio. Para a variável intermediária foram considerados as atracções das embarcações que movimentam granel sólido anual e a quantidade embarcações que movimentam contêineres anual. No segundo estágio, os *outputs* exógenos foram a quantidade de graneis sólidos (toneladas/ano) e contêineres (TEU/ano).

Seiford e Zhu (1999) afirmam que claramente é possível aplicar o modelo *Network Two-Stage* DEA de forma independente. Entretanto, Liang et al. (2008) afirmam que há um conflito inerente a esta análise. Por exemplo, suponha que uma DMU é eficiente no primeiro estágio e no segundo estágio não é. Ao melhorar o desempenho desta DMU no segundo estágio (reduzindo o *input* intermediário ( $z_{dj}$ ), por meio do modelo DEA orientado a *input*) a redução da variável intermediária pode tornar a DMU ineficiente no primeiro estágio.

A partir disto, Kao e Hwang (2008) propuseram um modelo que considera à relação entre os estágios, conhecido como modelo *Network Two-Stage* DEA Relacional Multiplicativo que é baseado no modelo clássico DEA-CCR. A modelagem matemática para a eficiência global ( $E_0$ ) é apresentada na Equação 40 a Equação 42 (KAO e HWANG, 2010; TORRES et al., 2016).

$$E_0 = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad \text{Equação 40}$$

$$s. t. \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 41}$$

$$u_r, v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s \quad \text{Equação 42}$$

De forma análoga, a modelagem matemática do primeiro estágio ( $E_0^1$ ) é descrita na Equação 43 a Equação 45. E do segundo estágio ( $E_0^2$ ) é descrito pela Equação 46 a Equação 48, onde os termos  $u_r, v_i, w_d$  são os pesos das variáveis  $x, y, z$  que são, respectivamente, os valores dos *inputs*, dos *outputs* e das variáveis intermediárias (TORRES et al., 2016).

$$E_0^1 = \max \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{d0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad \text{Equação 43}$$

$$s. t. \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 44}$$

$$w_d, v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, d = 1, 2, \dots, D \quad \text{Equação 45}$$

$$E_0^2 = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{d0}} \quad \text{Equação 46}$$

$$s. t. \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 47}$$

$$u_r, w_d \geq 0, d = 1, 2, \dots, D, r = 1, 2, \dots, s \quad \text{Equação 48}$$

Kao e Hwang (2008) estabeleceram a iteração entre os dois estágios ao adicionar as restrições da Equação 43 e Equação 47 na Equação 41 – ou seja, a eficiência dos estágios deve ser menor ou igual a 1 – conforme é apresentado na Equação 49 a Equação 53 (GOMES JÚNIOR et al., 2014).

$$E_0 = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad \text{Equação 49}$$

$$s. t. \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 50}$$

$$\frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 51}$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 52}$$

$$u_r, v_i, w_d \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s, d = 1, 2, \dots, D \quad \text{Equação 53}$$

Além disto, os autores assumiram que os multiplicadores associados às variáveis intermediárias ( $z_{dj}$ ) são os mesmos, independentemente se são *outputs* do primeiro estágio ou *inputs* do segundo estágio (KAO e HWANG, 2008). As Equação 49 a Equação 53 podem ser linearizadas desde que o denominador da função objetivo seja igual a um ( $\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$ ), o que possibilita utilizar a técnica de Programação Linear para sua resolução (Equação 54 a Equação 59).

$$E_0 = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad \text{Equação 54}$$

$$s. t. \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad \text{Equação 55}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 56}$$

$$\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 57}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 58}$$

$$u_r, v_i, w_d \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s, d = 1, 2, \dots, D \quad \text{Equação 59}$$

Contudo, de acordo com Kao (2009), as restrições apresentada na Equação 56 são redundantes, logo pode-se omiti-las resultando na Equação 60 s Equação 62;

$$E_0 = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad \text{Equação 60}$$

$$E_0^1 = \max \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{d0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad \text{Equação 61}$$

$$E_0^2 = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{d0}} \quad \text{Equação 62}$$

Uma outra forma de se obter a eficiência global é por meio do produto das eficiências dos estágios, conforme apresentado pela Equação 63.

$$E_0 = E_0^1 \times E_0^2 \quad \text{Equação 63}$$

Entretanto, a combinação dos pesos ótimos pode não ser única, ou seja, há mais de uma possibilidade de combinação de pesos no cálculo das eficiências e, conseqüentemente, a decomposição da Equação 63 pode também não ser única (BRÁS, 2015; GOMES JÚNIOR et al., 2014).

Como solução, Kao e Hwang (2008) propuseram encontrar o conjunto de multiplicadores que permita o maior valor para  $E_0^1$ , mantendo o escore de eficiência global em  $E_0$  calculado a partir da Equação 54 a Equação 59.

Este conceito foi formulado matematicamente pelo autor conforme é possível observar na Equação 64 a Equação 70 (BRÁS, 2015; KAO e HWANG, 2008);

$$E_0^{1+} = \max \sum_{d=1}^D w_d z_{d0} \quad \text{Equação 64}$$

$$s. t. \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 65}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - E_0 \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 66}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 67}$$

$$\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 68}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 69}$$

$$u_r, w_d, v_i \geq \varepsilon, r = 1, 2, \dots, s; i = 1, 2, \dots, m; d = 1, 2, \dots, D \quad \text{Equação 70}$$

Após o cálculo de  $E_0^{1+}$ , a eficiência do segundo estágio é obtida pela Equação 71;

$$E_0^{2-} = \frac{E_0}{E_0^{1+}} \quad \text{Equação 71}$$

Este procedimento pressupõe que o tomador de decisão demonstra maior interesse na eficiência do primeiro estágio. Caso o interesse seja maior pelo segundo estágio, então calcula-se primeiro o conjunto dos multiplicadores que possibilita o maior valor para  $E_0^2$ , similarmente denotado por  $E_0^{2+}$ , considerando o mesmo valor de eficiência global ( $E_0$ ) (Equação 72 a Equação 78);

$$E_0^{2+} = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad \text{Equação 72}$$

$$s. t. \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} = 1, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 73}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - E_0 \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 74}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 75}$$

$$\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 76}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 77}$$

$$u_r, w_d, v_i \geq \varepsilon, r = 1, 2, \dots, s; i = 1, 2, \dots, m; d = 1, 2, \dots, D \quad \text{Equação 78}$$

O cálculo da eficiência do primeiro estágio é obtido por (Equação 79).

$$E_0^{1-} = \frac{E_0}{E_0^{2+}} \quad \text{Equação 79}$$

No que se refere aos alvos projetados na fronteira eficiente, Chen et al. (2013) demonstraram que, sob a condição do CCR, a abordagem do envelope do modelo *Two-Stage* DEA não fornece, necessariamente, informações sobre a eficiência dos estágios e somente apresenta informações quanto às projeções das DMUs na fronteira.

Diante desta “armadilha”, a abordagem do envelope do modelo *Two-Stage* DEA não explica os pesos atribuídos às variáveis intermediárias utilizados nos cálculos das eficiências dos estágios. Embora a abordagem dos multiplicadores ofereça valor de eficiência global e nos estágios, os duais podem não fornecer informações corretas sobre as projeções na fronteira sem os ajustes adequados no modelo DEA, o que só pode ser realizado nos modelos de estágios em série (CHEN et al., 2013; TORRES et al., 2017).

Entretanto, Kao e Hwang (2008) apresentaram o modelo matemático do envelope do modelo *Two-Stage* DEA da seguinte forma (Equação 80 a Equação 84);

$$\min \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^v + \sum_{d=1}^D s_d^w + \sum_{r=1}^s s_r^u \right) \quad \text{Equação 80}$$

$$s. t. \theta x_{i0} - \sum_{j=1}^n \alpha_j x_{ij} - \sum_{j=1}^n \beta_j x_{ij} - s_i^v = 0, i = 1, 2, \dots, m \quad \text{Equação 81}$$

$$\sum_{j=1}^n \beta_j z_{dj} - \sum_{j=1}^n \gamma_j z_{dj} - s_d^w = 0, d = 1, 2, \dots, D \quad \text{Equação 82}$$

$$\sum_{j=1}^n \alpha_j y_{rj} - \sum_{j=1}^n \gamma_j y_{rj} - s_r^u = y_{r0}, r = 1, 2, \dots, s \quad \text{Equação 83}$$

$$\alpha_j, \beta_j, \gamma_j, s_i^v, s_d^w, s_r^u \geq 0 \quad \text{Equação 84}$$

$$j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; d = 1, \dots, D$$

Ao substituir  $\alpha_j + \gamma_j$  por  $\lambda_j$  e  $\beta_j + \gamma_j$  por  $\delta_j$ , obtém-se  $\lambda_j + \delta_j = \alpha_j + \beta_j$ . Desta forma, é possível reescrever o modelo da seguinte forma (Equação 85 a Equação 89);

$$E_0 = \min \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^v + \sum_{d=1}^D s_d^w + \sum_{r=1}^s s_r^u \right) \quad \text{Equação 85}$$

$$s. t. \sum_{j=1}^n (\lambda_j + \delta_j) x_{ij} + s_i^v = \theta x_{i0}, i = 1, \dots, m \quad \text{Equação 86}$$

$$\sum_{j=1}^n \delta_j z_{dj} - s_d^w = 0, d = 1, \dots, D \quad \text{Equação 87}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^u = y_{r0}, r = 1, \dots, s \quad \text{Equação 88}$$

$$\lambda_j, \delta_j, s_i^v, s_d^w, s_r^u \geq 0 \quad \text{Equação 89}$$

em que  $\lambda_j$  e  $\delta_j$  são os pesos das variáveis e  $s_i^v, s_d^w, s_r^u$  são as folgas dos *inputs* exógenos, variáveis intermediárias e *outputs* exógenos, respectivamente.



Kao e Hwang (2008) afirma que se todo  $\delta_j, j = 1, \dots, n$  for igual a zero, então este modelo se refere ao modelo CCR convencional. Entretanto, caso haja pelo menos um  $\delta_j$  diferente de zero, então a fronteira de produção formada pelas DMUs se desviará, em vez de passar por elas como ocorre no modelo CCR convencional (KAO e HWANG, 2008). Ainda o mesmo autor, este desvio permite explicar o porquê de nenhuma das DMUs ser eficiente.

### 3.5 DEA Aplicado no Setor Portuário

A aplicação dos modelos clássicos DEA tem sido largamente utilizado em diversos setores da economia mundial. Entretanto, os pesquisadores utilizam pouco o modelo *Network* DEA quando comparado com os modelos clássicos DEA, conforme é possível observar a seguir no levantamento de alguns trabalhos acadêmicos acerca desta temática no setor portuário. Contudo, é preciso destacar os principais trabalhos, que são;

- Paiva (2015) aplicou DEA em sete portos brasileiros que movimentam predominantemente soja. O trabalho visava avaliar o desempenho ambiental e operacional dos portos considerando como variáveis de *inputs* para a eficiência operacional; capacidade de armazenamento, profundidade do canal de acesso e extensão de berço. Para *output*, a autora considerou a prancha média e a movimentação de soja movimentada. Na análise da eficiência ambiental foi utilizado como *input*, os indicadores calculados por meio de procedimento metodológico desenvolvido pela própria autora, onde foi atribuído valores que dizem respeito à gestão ambiental dos portos, considerando os Resíduos Sólidos Gerados, Efluente Líquidos (Sanitários, Fluviais e Oleosos) e Fauna Sinantrópica Nociva. Como *output*, foi utilizado o Impacto Ambiental, estimado a partir da aplicação de uma metodologia que foi baseada na *Matriz de Leopold* e o Índice de Desempenho Ambiental (IDA), indicador desenvolvido e adotado pela ANTAQ. Em ambos os casos, a autora utilizou o método DEA CCR orientado a *input* com o intuito de reduzir o indicador que diz respeito à resíduos gerados, a existência de fauna sinantrópica nociva e aos efluentes líquidos. Na eficiência operacional buscou-se identificar a ociosidade das infraestruturas de armazenamento associada à movimentação da soja.
- O artigo de Guedes *et al.* (2008) compara o modelo DEA utilizado por Rios *et al.* (2004) e o utilizado em sua pesquisa. Enquanto que Rios *et al.* (2004) utilizaram o modelo CCR orientado a *input*, onde foi considerado quatro *inputs* e um *output*. O modelo proposto por Guedes *et al.* (2008) utilizou o DEA BCC orientado a *output* considerando como *inputs*; número de berços, tamanho da área do terminal e

quantidade de funcionários. E os *outputs* foram; a quantidade de TEU's por guindaste (relação de produtividade) e quantidade de TEU's movimentados. Entretanto, os respectivos autores utilizaram DMUs artificiais como um método alternativos de simulação de um conjunto de restrições aos pesos.

- O artigo de Rubem *et al.* (2014) utilizou dois métodos para avaliar o desempenho das DMUs que foram o DEA CCR e BCC ambos orientados a *output* na formulação do envelope e o método de *Copeland*. Os autores visavam avaliar a importância relativa de cada unidade do setor portuário brasileiro para o comércio nacional, dado o tipo de carga movimentada por cada unidade portuária. Para isso, foi desenvolvido um conjunto de *clusters* e segregaram tais portos conforme o perfil da carga de cada unidade portuárias. Neste artigo, a própria unidade portuária foi considerada como o *input* (*input* unitário) e para *output* foram considerados o número de atracações, quantidade de carga movimentada em contêineres (TEU), tonelagem movimentada de carga solta, tonelagem movimentada de carga em granel líquido; e a tonelagem de carga movimentada em granel sólido.
- O artigo de Roll e Hayuth (1993) é considerado o trabalho pioneiro na defesa da aplicação de DEA no setor portuário. Entretanto, os autores limitaram na apresentação teórica e não houve estudo de caso. Apesar disto, o trabalho permitiu a aplicação do DEA no setor portuário.
- O trabalho de Martinez-Budría *et al.* (1999) aplicou o modelo DEA-BCC com o intuito de avaliar o desempenho operacional e financeiro de 26 portos contêineres espanhóis, sendo estes segregados em três grupos conforme o grau de complexidade de cada um. Os autores consideraram como variáveis de *input*, despesas com pessoal, taxas de depreciação e outros custos. Para *output* foi considerado movimentação de cargas, receita obtida no aluguel de facilidades.
- Tongzon (2001) avaliou o desempenho operacional de 16 terminais de diferentes países considerando dois *outputs*, que são; movimentação de contêiner (TEU) e a movimentação de contêineres (TEU) por hora de trabalho por navio, e seis *inputs*, número de guindaste, número de berços de atracação, número de rebocadores, número de funcionários, área do terminal e *Delay Time*.
- O artigo de Chang (2013) analisou a eficiência ambiental de 23 portos situados na Coreia utilizando o SBM DEA, em que foram considerados os dados de desempenho ambiental e econômico, estimando, assim, o potencial de redução de CO<sub>2</sub> pelos portos em questão. O artigo determina que estes portos foram ineficientes no ponto de vista econômico, e eficientes ao considerar o desempenho ambiental e econômico simultaneamente.
- Torres *et al.* (2016) analisou a eficiência operacional de 34 terminais portuários e portos brasileiros utilizando o modelo Network DEA (NDEA), considerando como *input* no primeiro estágio a quantidade de berços de atracação. E como *output* o número de atracações. No segundo estágio, os *inputs* são os *outputs* utilizados no

primeiro estágio. O *output* do segundo estágio foi utilizado os pesos brutos de carregamento dos contêineres, da carga solta, do granel sólido e do granel líquido. Os autores utilizaram o tempo médio de estadia para comparar as eficiências do primeiro, segundo estágios e a eficiência global.

- Omrani e Keshavarz (2015) adotou o modelo *Network* DEA relacional para analisar a eficiência da cadeia de suprimentos das linhas de navegação, formadas por uma série de tomadores de decisão, como; fornecedores, produtores e distribuidores, interconectados em uma rede, onde foram considerados seis *inputs*, oito variáveis intermediárias e um *output*.

A partir do levantamento dos trabalhos científicos que aplicaram o método DEA no setor portuário, foram identificados os *inputs* e os *outputs* considerados para a representação dos problemas destes trabalhos. O resultado deste levantamento permitiu identificar que, do total de *inputs* adotados (145 *inputs*) neste levantamento, cerca de 60,69% utilizaram *inputs* que dizem respeito a infraestrutura do porto, 16,55% de *inputs* acerca da operação do porto; 10,34% de *inputs* que dizem respeito as finanças do porto, 7,59% de *inputs* acerca dos recursos humanos; 4,14% dos *inputs* que dizem respeito as questões ambientais e, por fim, o *input* unitário foi utilizado apenas uma única vez, representado 0,69% da amostra, conforme é possível observar na Figura 16 (ACOSTA, 2008; ACOSTA et al., 2011; BARROS e ATHANASSIOU, 2004; BERTOLOTO e MELLO, 2011; CHANG, 2013; CORTEZ et al., 2013; CRAVEIRO, 2015; CULLINANE et al., 2004; DASGUPTA e SINHA, 2016; FERNANDES, 2010; FONTES, 2006; GOBBI, 2015; GUEDES et al., 2008; GUIMARÃES et al., 2014; GÜNER, 2015; ITOH, 2002; KIRCHNER, 2013; MARTINEZ-BUDRÍA et al., 1999; MILANI et al., 2015; NGUYEN et al., 2015; OLIVEIRA, 2015; OMRANI e KESHAVARZ, 2015; PAIVA, 2015; PIRES, 2016; PIRES e SILVA, 2016; RIOS, 2005; RIOS et al., 2004; ROLL e HAYUTH, 1993; RUBEM et al., 2014, 2015; SILVA et al., 2011; SILVEIRA, 2009; SOUSA JÚNIOR, 2010; TISCOSKI, 2016; TONGZON, 2001; TORRES et al., 2016; VALENTINE e GRAY, 2001; VIEIRA et al., 2014; WANKE, 2013).

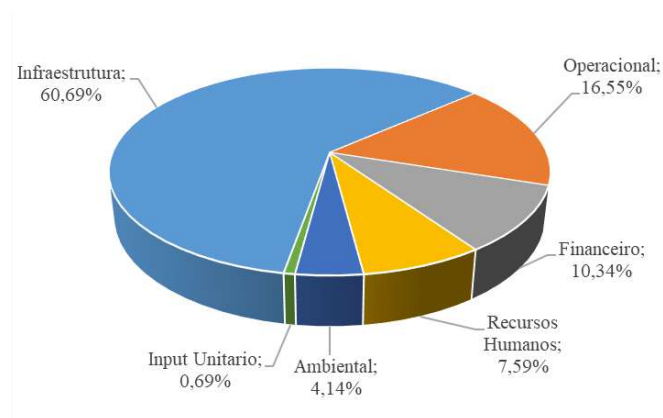


Figura 16: Percentual dos tipos de *inputs* utilizados nos trabalhos científicos levantados, que aplicaram DEA no setor portuário.

Fonte: Elaboração própria

A representatividade dos *inputs* mais utilizados pelos autores levantados é apresentada na Figura 17. O *input* mais adotado nos trabalhos foi o número de equipamentos, representando cerca de 13,10% da amostra. Esta variável diz respeito aos equipamentos utilizados nas movimentações das cargas, tais como, guindastes pórticos, *Reach Stacker*, empilhadeiras, entre outros.

Em seguida, a área do terminal, extensão de cais e número de berços representaram, respectivamente, 10,34%, 8,97%, 7,59% da amostra. Os quatro *inputs* mais utilizados pelos autores dizem respeito da infraestrutura do setor portuário. Além destas variáveis de entrada, o levantamento contou com: o número de funcionários (7,59%), variável que diz respeito aos recursos humanos disponíveis nas operações portuárias; extensão do berço (6,21%), variável de infraestrutura e determina o tamanho máximo que um navio pode atracar; custo operacional (4,83%); profundidade do calado (4,14%); profundidade do canal de acesso (4,14%), área de armazenagem (2,76%), capacidade estática (2,76%), variável que diz respeito a quantidade de cargas que o porto pode armazenar; capital (2,07%), variável sobre os investimentos monetários aplicados nos portos (ou instalações portuárias) com o intuito de promover sua modernização; consignação média (2,07%); resíduo sólido gerados (2,07%).

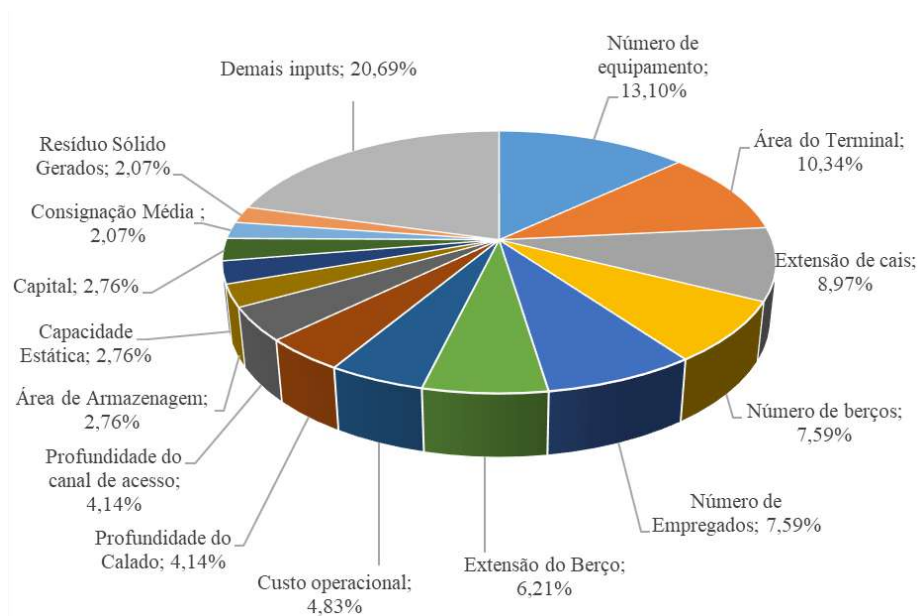


Figura 17: Percentual dos *inputs* de infraestrutura mais utilizados nos trabalhos levantados  
Fonte: Elaboração própria

Por fim, a categoria “*Demais inputs*” é composta pelos *inputs* cuja representatividade foi menor que 2% da amostra. Entretanto, juntos representam cerca de 21,38% da amostra<sup>3</sup>.

Os tipos de *outputs* mais adotados pelos autores estavam relacionados com as variáveis operacionais, representando 85,29% da amostra, conforme é possível observar na Figura 18. Em seguida, os demais tipos *outputs* utilizados foram; financeiro, ambiental e qualidade, que, respectivamente, representaram 6,86%, 4,90% e 2,94% da amostra.

<sup>3</sup> A categoria “*Demais inputs*” é representada por: capacidade de armazenamento, consumo de energia, prancha média, total de emissão, área do pátio, capacidade de manuseio de carga, capacidade dos berços em receber navios, consumo de água por trabalhador, consumo de material de escritório, *delay time*, despesas com pessoal, despesas totais, efluente líquidos, emissão de esgoto, energia consumida (TOE), fauna sinantrópica nociva, *input* unitário, inverso do tempo médio de operação, investimentos, largura da bacia de evolução, largura do canal de acesso, profundidade da bacia de evolução, profundidade do cais acostável, taxa de ocupação dos berços, taxas de depreciação, tipos de carga, total de custos.

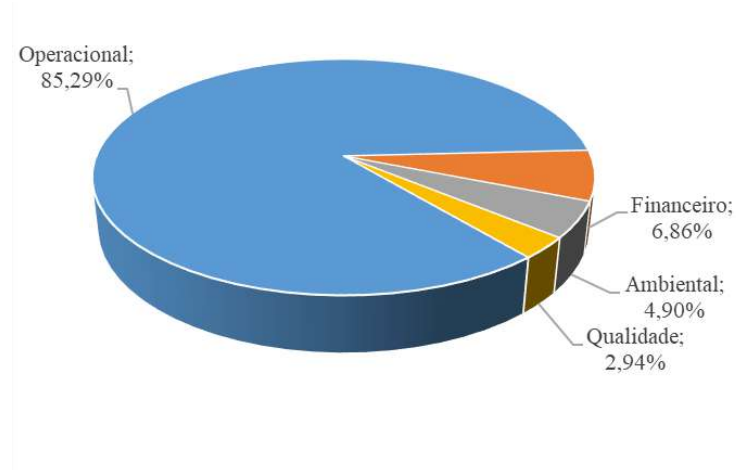


Figura 18: Percentual dos tipos de *outputs* mais utilizados nos trabalhos científicos levantados que aplicaram DEA no setor portuário  
Fonte: Elaboração própria

A representatividade dos *outputs* utilizados pelos autores é apresentada na Figura 19. Como é possível observar, o *output* carga movimentada representou 59,80% da amostra, evidenciando a preferência dos autores por esta variável de saída. Em seguida, a atracação foi o segundo *output* mais adotado pelos autores, representando 16,67% da amostra. Estes dois *outputs* dizem respeito da operação portuária e, juntos, representam cerca de 76,47% da amostra.

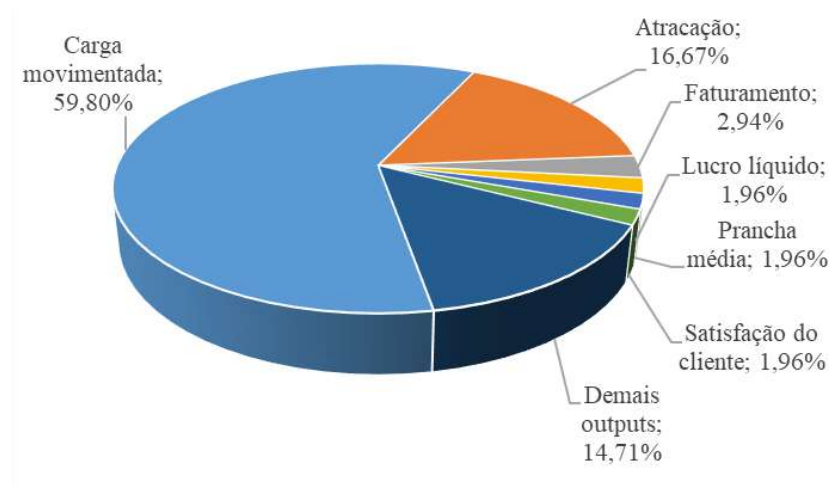


Figura 19: Percentual dos *outputs* mais utilizados nos trabalhos científicos levantados que aplicaram DEA no setor portuário  
Fonte: Elaboração própria

Em seguida, os *outputs* mais adotados foram: faturamento (2,94%), lucro líquido (1,96%), prancha média (1,96%), satisfação do cliente (1,96) e demais *outputs* (14,71%)<sup>4</sup>.

Ao analisar os modelos DEA adotados pelos autores, dos 49 trabalhos levantados para esta dissertação, a aplicação dos modelos CCR e BCC, no mesmo trabalho, foi observado em 36,73% da amostra (Figura 20). Em trabalhos distintos, os modelos BCC e CCR foram observados, respectivamente, em 20,41% da amostra.

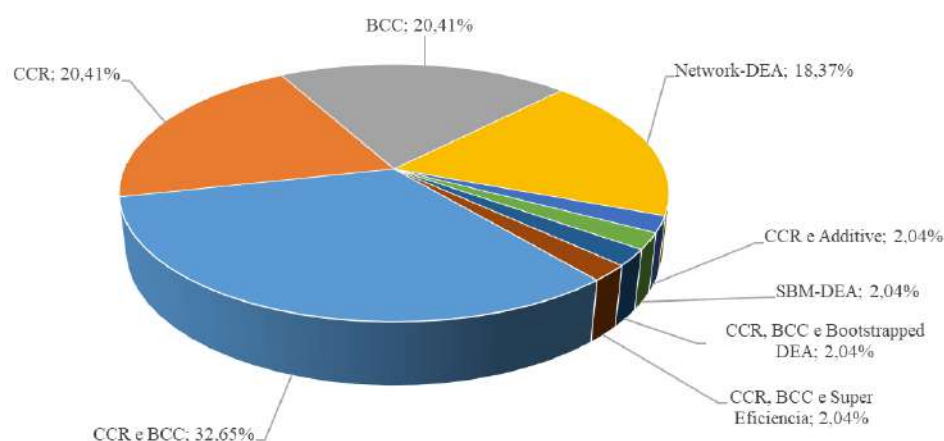


Figura 20: Percentual dos modelos adotados pelos autores nos trabalhos levantados  
Fonte: Elaboração própria

Dos 49 trabalhos levantados para esta dissertação, apenas nove (18,37%) adotaram o modelo *Network* DEA (Figura 20). Destes, apenas três (33,33%) foram referentes ao setor portuário. Destes três trabalhos, dois (66,66%) utilizaram as variáveis de infraestrutura como *input* exógenos; a quantidade de atracação como variável intermediária e; para *output* exógeno, a movimentação de cargas nos portos.

<sup>4</sup> Os *outputs* que compõem a categoria Demais *Outputs* são: 1/ tempo de operação/ 1.000 (TEUs), emissão de  $\text{CO}_2$  (ton), impacto ambiental, índice de desempenho ambiental (IDA), *market share*, média de movimentação de contêiner por hora por navio, movimentação horária da carga (un/h), movimentação por hora, movimentação teus por hora de trabalho/navio, nível de serviço (%), plásticos reciclados em relação aos plásticos segregados (%), plásticos segregados em relação aos resíduos sólidos totais (%), produtividade no cais (unid/h), receita obtida no aluguel de facilidades (pesetas), TEUs/guindaste.

### 3.6 Seleção das variáveis *inputs* e *outputs*

A tarefa de escolha das variáveis de *input* e *output* é considerada crítica, pois, caso haja algum equívoco na seleção destas, é possível que os resultados sejam igualmente equivocados (ALMAWSHEKI e SHAH, 2015; FERNANDES, 2010).

Com o intuito de evitar que isto ocorra, é preciso identificar a influência com que as variáveis têm no problema a ser estudado. No que tange ao transporte de cargas pelo setor portuário, Almawsheki e Shah (2015) afirmam que a escolha dos *inputs* e dos *outputs* devem refletir os objetivos reais e os processos acerca das operações de movimentação das cargas do setor portuário.

A partir do levantamento dos trabalhos científicos, observou-se que 60,69% das variáveis de entrada consideradas pelos autores foram de *inputs* de infraestrutura. Das variáveis de saída, 85,29% foram de *outputs* que dizem respeito das operações portuárias.

Dowd e Leschine (1990) afirmam que a produtividade dos portos e terminais portuários dependem do uso eficiente dos recursos disponíveis. Com isso, é possível concluir que as características físicas e organizacionais influenciam na produtividade e eficiência do setor portuário (SOUSA JÚNIOR, 2010). Desta forma, faz-se necessário apresentar algumas variáveis de *input* e *output* com o intuito de enriquecer a discussão;

#### *a. Cais de atracação*

Segundo Fontes (2006), o cais é destinado à atracação de embarcações de passageiros e cargas. A extensão do cais pode influenciar na produtividade do terminal, pois, é possível que esta variável influencie na quantidade de berços de atracação existentes.

#### *b. Berços de atracação*

Os berços são locais destinados à atracação e movimentação das cargas a serem embarcadas ou desembarcadas (APPA, 2011) A quantidade de berços determina a capacidade do porto em atender as embarcações, simultaneamente.

Além disto, a extensão dos berços pode determinar o tamanho máximo das embarcações que podem ser atracados. Para Paiva (2015, p. 49), a extensão dos berços “é uma medida da



disponibilidade de espaço” para as embarcações. Ainda a mesma autora, os berços mais extensos conseguem atender embarcações de diversos tipos de tamanho.

*c. Canal de Acesso*

Segundo a ANTAQ (2009), o canal de acesso liga o alto mar com as instalações portuárias, cuja profundidade, largura e sinalização devem ser adequadas para o acesso das embarcações às instalações portuárias. Suas dimensões possibilitam, ou não, a atracação de embarcações de maior porte e/ou mais carregados, medido por meio do calado (KIRCHNER, 2013; PAIVA, 2015). Ou seja, quanto maior for estas dimensões, maior é a gama de embarcações (pequeno, médio e grande porte) a navegarem.

*d. Calado*

O calado é definido por APPA (2011) e Sousa Júnior (2010) como a distância entre a lâmina d’água e o ponto mais baixo da quilha da embarcação. Craveiro (2015) afirma que a produtividade do porto está relacionada com os calados mais profundos pois, possibilita que embarcações de maior porte, e mais carregadas, atraquem nestes portos.

*e. Área do Terminal;*

Para Kirchner (2013) e Fernandes (2010), a área do terminal representa a capacidade quanto ao manuseio e armazenamento das cargas. Esta variável apresenta as características físicas e operacionais dos portos e terminais portuários, onde é permitido medir sua capacidade física e operacional (PIRES, 2016).

*f. Área de Armazenagem e Pátio;*

As áreas de armazenagem e os pátios de armazenagem são locais destinados para a acomodação temporária das cargas destinadas/oriundas às embarcações. Paiva (2015) afirma que a disponibilidade de cargas nos armazéns e pátios pode definir o tempo de duração da operação portuária por permitir a manutenção do fluxo de cargas no decorrer da operação portuária. Com isso, é possível perceber que as áreas de armazenagem e do pátio tem impacto direto na produtividade do setor portuário como um todo.

*g. Consignação Média;*

A consignação média é o indicador que mede a quantidade de carga, em toneladas ou em unidades de contêineres (TEU), que foram carregadas ou descarregadas dos navios – toneladas/navio ou TEU/navio (ARRUDA et al., 2008; CRAVEIRO, 2015). Por meio deste indicador, é possível caracterizar o tamanho médio das embarcações que atracam num berço, ou num conjunto de berços do porto (Equação 90) (CRAVEIRO, 2015).

$$\text{Consignação Média} = \frac{\text{somatório da tonelada movimentada}}{\text{Número de atracações}} \quad \text{Equação 90}$$

#### *h. Prancha Média;*

Este indicador determina a quantidade de carga movimentada em relação ao tempo (hora) que a embarcação esteve atracada (CRAVEIRO, 2015). Além disto, este indicador evidencia de forma implícita um indicativo dos recursos utilizados no porto (ou terminal portuário), tais como, quantidades e tipos de equipamentos e quantidade de mão de obra disponível.

É possível afirmar que determinados tipos de equipamentos utilizados na movimentação, principalmente os mais especializados, pode impactar na capacidade de movimentação da carga, afetando diretamente a produtividade do porto (CRAVEIRO, 2015; KIRCHNER, 2013).

#### *i. Tempo Médio de Espera de Navios;*

Este indicador determina o tempo, medido em horas, que o navio espera para conseguir atracar no porto ou terminal portuário (ANTAQ, 2009). Este indicador é apresentado para cada tipo de carga movimentada (granel sólido, líquido e carga geral).

#### *j. Movimentação de Carga e Atracação*

No que se refere às variáveis de *output*, a quantidade de carga movimentada e a atracação representam de forma mais adequada à produtividade do porto ou terminal. Além disto, estas variáveis são as mais utilizadas em trabalhos acadêmicos voltados para analisar a eficiência operacional dos portos e/ou terminais portuários (ALMAWSHEKI e SHAH, 2015)

#### *k. Resíduos Sólidos Gerados*

Segundo Gobbi (2015), a geração de resíduos sólido está diretamente associada às “atividades humanas nos portos e nas suas áreas de entorno” (GOBBI, 2015, p. 21). Ainda a mesma autora, as atividades portuárias que geram resíduos são;

- Operações de carga e descarga;
- Armazenamento temporário de cargas e produtos;
- Resíduos gerados nas áreas administrativas e de manutenção das instalações;
- Acondicionamento e limpeza inadequados de grãos e resíduos de cargas nos pátios, durante a movimentação (transporte da carga) ou armazenamento temporário;
- Manuseio de carga geral;
- Resíduos gerados na embarcação oriunda da atividade humana;

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os procedimentos metodológicos que nortearam esta pesquisa na busca para atender seus objetivos. Desta forma, é essencial estabelecer que a classificação dos objetivos desta pesquisa são exploratórios, pois segundo Oliveira (2011), as pesquisas que se enquadram nesta categoria de estudo buscam esclarecer ideias e intuições, visando adquirir maior conhecimento acerca do fenômeno pesquisado.

Em geral, a pesquisa exploratória permite que o estudo do tema seja realizado sob diversos ângulos e aspectos, que envolve, em geral, o levantamento bibliográfico, entrevistas com especialistas que já vivenciaram o problema a ser pesquisado e analisa outros exemplos com o intuito de estimular uma maior compreensão acerca do tema em questão (PROVDANOV e FREITAS, 2013).

Esta pesquisa considerou 19 portos marítimos brasileiros como estudo de caso, o que caracteriza um estudo de casos múltiplos (OLIVEIRA, 2011). Por fim, a natureza desta pesquisa é quantitativa diante das variáveis utilizadas serem quantitativas, e não qualitativas. (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

O levantamento dos dados do setor portuário brasileiro foi por meio de fontes secundárias, a partir da publicação de relatórios técnicos disponibilizados pelo Projeto de *Implantação do Programa de Conformidade do Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos nos Portos Marítimos Brasileiros*, cuja parceria foi entre à Secretaria Especial de Portos da Presidência da República (SEP/PR) e à COPPE/UFRJ<sup>5</sup>, por intermédio do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG), que teve o seu início em 2011 (FREITAS et al., 2016d)

Para conseguir cumprir com os objetivos, o fluxograma apresentado na Figura 21 foi utilizado para direcionar às ações necessárias, além de viabilizar possíveis obstáculos a serem cumpridos no decorrer desta pesquisa.

---

<sup>5</sup> COPPE/UFRJ – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

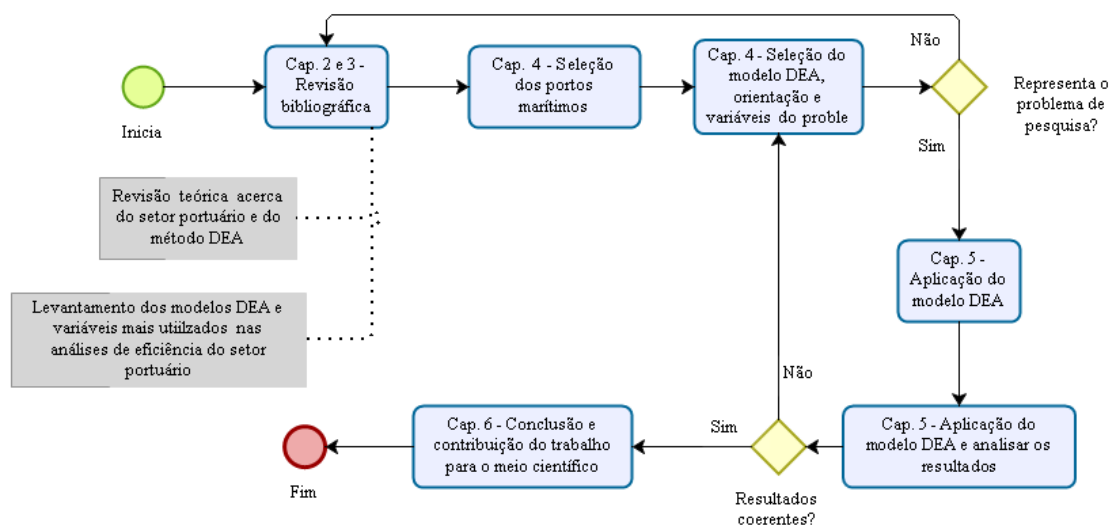


Figura 21: Fluxograma do procedimento metodológico da pesquisa  
Fonte: Elaboração própria

A seguir são descritas as etapas do fluxograma (Figura 21) com o intuito de detalhar o procedimento metodológico adotado nesta pesquisa.

#### 4.1 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica permitiu identificar as atividades portuárias, além do levantamento das características da infraestrutura e superestrutura necessárias para a movimentação dos mais variados tipos de cargas nos portos marítimos brasileiros.

Além disto, o levantamento bibliográfico do método DEA possibilitou analisar a eficiência da geração de resíduos nos portos marítimos, considerando variáveis de infraestrutura e da operação de atracação. Para isto, foi necessário levantar o referencial teórico acerca dos modelos DEA mais utilizados na solução dos problemas operacionais encontrados no setor portuário, assim como suas orientações (*input* e/ou *output*) e as variáveis adotadas nestas pesquisas.

Para isto, foram consultadas as bases de dados (nacional e internacional), cujos documentos são de instituições acadêmica de notório saber ou de alguma instituição do governo brasileiro ou estrangeiro. Em geral, os documentos utilizados foram; teses de doutorado, dissertações de mestrado, artigos científicos publicados em revistas, periódicos ou em anais de congressos acadêmicos, manuais de boas práticas elaborados por instituições de notório

saber, normas, legislações e resoluções instituída por órgãos da administração pública, além de outros documentos oriundos de fontes fidedignas.

#### **4.2 Seleção dos Portos Marítimos**

A escassez de dados relativos à geração de resíduos do setor portuário brasileiro foi um dos principais obstáculos a ser superado nesta pesquisa. Tais dados foram extraídos dos Relatórios Diagnósticos, resultado do *Programa de Conformidade*, sendo considerado dados de fonte secundária.

Os dados de geração de resíduos têm uma limitação temporal do ano de 2013, o que pode ser considerada desatualizada no meio acadêmico. Diante disto, foi realizado ampla busca por documentos, junto à ANTAQ e aos portos marítimos, com o intuito de verificar a existência de dados da geração de resíduos em períodos mais recentes. Apesar deste esforço, não foi possível obter tais dados por nenhum dos órgãos consultados, restando utilizar os dados do Projeto de Conformidade.

O critério para a seleção dos portos considerou à geração mínima de uma tonelada de resíduos sólidos declarados no ano de 2013. Sendo assim, dos 22 portos marítimos brasileiros considerados no *Projeto de Conformidade*, os portos de Cabedelo, Ilhéus e Maceió foram excluídos das análises.

Os portos marítimos brasileiros considerados nesta pesquisa foram; Aratu-Candeias (BA), Belém (PA), Fortaleza (CE), Imbituba (SC), Itaguaí (RJ), Itajaí (SC), Itaquí (MA), Natal (RN), Paranaguá (PR), Recife (PE), Rio de Janeiro (RJ), Rio Grande (RS), Salvador (BA), Santos (SP), São Francisco do Sul (SC), São Sebastião (SP), Suape (PE), Vila do Conde (PA) e Vitória (ES).

#### **4.3 Seleção do Modelo DEA, Orientação e Variáveis do Problema**

O modelo adotado nesta pesquisa foi o *Network Two-Stage* DEA Relacional Multiplicativo, porque permite identificar a eficiência em cada estágio de análise dos portos. Para isto, foi

adotado o modelo DEA que considera o retorno constante de escala (CRS), conforme proposto por Kao e Hwang (2008).

Este modelo possibilita identificar a eficiência global ( $E_0$ ) dos portos, por meio do produto entre os indicadores das eficiências do primeiro ( $E_0^1$ ) e do segundo estágios ( $E_0^2$ ), conforme apresentado na seção 3.4.

O objetivo desta pesquisa é reduzir a geração de resíduos nos portos marítimos, o modelo deveria ser orientado a *output*, já que este último é resultado da ineficiência da gestão das operações portuárias. Entretanto, como o modelo é o CRS, não é necessário definir a orientação já que, neste caso, ambas as orientações fornecem o mesmo indicador de eficiência (GOMES JÚNIOR et al., 2014).

Além disto, os estágios foram analisados de forma independente, com o intuito de identificar os alvos e os *benchmarks*, numa análise não relacional, onde foi considerado o modelo DEA clássico CCR orientado a *output*.

A estrutura do modelo DEA configurado nesta dissertação, o ferramental computacional utilizado foram dois. O *software* online SIMDEA (Sistema Integrado de Modelagem em Análise Envoltória de Dados) foi utilizado devido ser o único – até o momento – a ter disponível o modelo *Network* DEA, conforme apresentado por Soares et al. (2017). Após isto, foi utilizado o *software* SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão) no cálculo das eficiências no modelo independente por apresentar os indicadores de eficiência invertida e composta, além dos alvos, folgas e os valores dos *benchmarks*.

As variáveis selecionadas nesta pesquisa são apresentadas conforme o estágio em que se situa. Com isso, no primeiro estágio, os *inputs* exógenos são; a quantidade de berços (unidade), a extensão do cais (Km) e a área de armazenagem e pátio (Km<sup>2</sup>). A quantidade de berços determina o número de embarcações que o porto consegue atender simultaneamente. Para isto, é necessário que um conjunto de equipamentos e recursos humanos estejam disponíveis simultaneamente. A importância desta variável é observada nos trabalhos levantados que aplicaram DEA no setor portuário, sendo esta a quarta variável de entrada mais observada da amostra.

A extensão de cais é uma variável importante a ser considerada no problema por determinar o tamanho máximo que um navio pode atracar no porto. Com isso, é possível afirmar que embarcações maiores tendem a transportar uma quantidade maior de cargas numa única viagem, o que interfere diretamente na produtividade do porto. Entretanto, análogo a isto, portos que não disponibilizam grandes extensões de cais, para ser eficiente, tendem a apresentar uma quantidade maior de atracações. Além disto, esta variável foi a terceira mais observada nos trabalhos levantados que aplicaram DEA no setor portuário.

A terceira variável de infraestrutura considerada nesta pesquisa diz respeito à capacidade de armazenamento temporário das cargas no porto. Nesta variável, a áreas dos armazéns e dos pátios foram somadas e, com isso, denominada apenas por área de armazenagem. Esta variável determina a capacidade que o porto tem de estocar, temporariamente, as cargas no decorrer das operações portuárias. É possível perceber a influência direta desta variável nas operações portuárias, o que permite que o fluxo de cargas durante o carregamento ou descarregamento nas embarcações seja constante.

Como *outputs* do primeiro estágio (variável intermediária), a quantidade de atracações destinadas à movimentação de cargas e à quantidade de cargas movimentadas, em toneladas, foram adotadas, já que, estes *outputs* representam a atividade fim do setor portuário. Além disto, estas variáveis foram os dois *outputs* mais adotados pelos autores que aplicaram o método DEA no setor portuário.

Para conseguir atracar e movimentar as cargas é necessário que a infraestrutura do porto seja adequada aos tipos das embarcações e às cargas movimentadas. Sendo assim, justifica-se considerar no primeiro estágio as variáveis de infraestrutura, como *inputs*, e as operações de atracação e movimentação de carga, como *outputs*.

Neste trabalho foram considerados as atracações destinadas apenas na movimentação de cargas, onde nenhuma outra atividade foi considerada como por exemplo, a atracação das operações de apoio marítimo, manutenção de embarcações, entre outros.



Os dados de atracação e movimentação das cargas foram extraídos do Sistema de Informação Gerencial (SIG) da ANTAQ. Para o levantamento das informações da infraestrutura dos portos foram utilizados os relatórios do Projeto de Conformidade e os Planos de Desenvolvimento de Zoneamento (PDZ) dos respectivos portos marítimos.

O segundo estágio, por sua vez, analisou o desempenho da gestão de resíduos sólidos dos portos, onde a quantidade de resíduos sólidos gerados, em toneladas, foi utilizada a variável de saída. Os dados de geração de resíduos sólidos foram extraídos dos Relatórios Diagnósticos, resultado do Projeto de Conformidade, no ano de 2013.

A geração de resíduos sólidos é um resultado indesejado (*output* indesejado) das operações portuárias, impactando de forma negativa nos indicadores de eficiência do modelo DEA. Diante disto, faz-se necessário adotar uma das quatro abordagens apresentada na subseção 3.3 para que o modelo DEA calcule os indicadores de eficiência de forma correta.

A abordagem ADD, ao transformar o *output* indesejado num valor negativo, tem implicações nos *softwares* utilizados nesta dissertação. Tais programas computacionais não reconhecem variáveis negativas, impossibilitando obter os resultados desejados.

A abordagem INP, ao considerar o *output* indesejado num *input*, modifica a estrutura das variáveis no modelo *Network Two-Stage* DEA, onde, a variável geração de resíduos passaria a ser um *input* exógeno no primeiro estágio. A abordagem  $TR\beta$ , ao somar o  $\beta$  com os *outputs* indesejados de cada DMU, impossibilita utilizar o modelo CCR, dado que este é invariante à translação.

Sendo assim, a abordagem *Multiplicative Inverse* (MLT) foi adotada por não apresentar qualquer tipo de impedimento que fora observado nas demais abordagens. A operação matemática da abordagem MLTN apresentou valores muito pequenos, sendo necessário multiplicar por  $1 \times 10^4$ .

A Figura 22 apresenta de forma sucinta o modelo *Network Two-Stage* DEA e as variáveis consideradas nesta pesquisa;

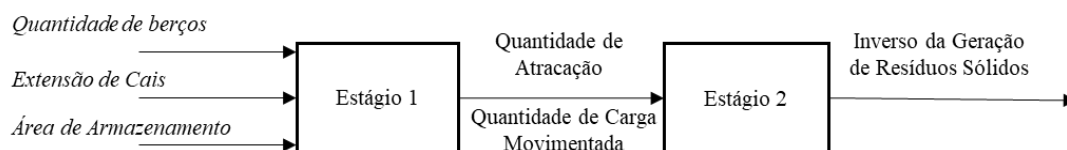


Figura 22: Modelo *Network Two-Stage* DEA adotado no estudo de caso desta dissertação  
Fonte: Elaboração própria

As variáveis de *inputs*, *input/output* intermediário e *output* exógeno dos portos são apresentadas na Tabela 3;

Tabela 3: Valores das variáveis consideradas no problema

Porto	DMU	Quant. Berços	Ext. Cais (Km)	Área Armaz. (Km <sup>2</sup> )	Qnt. Atracação (unid.)	Qnt. Carga (ton)	Inverso da Geração de Resíduos Sólidos (ton <sup>-1</sup> )
Aratu-candeias	1	6	1,25	147,01	606	5.825.663	51,38
Belém	2	5	1,30	53,96	1.295	3.146.816	47,54
Fortaleza	3	5	1,05	50,27	705	5.160.709	40,08
Imbituba	4	3	0,91	283,29	283	2.492.026	48,04
Itaguaí	5	7	1,35	1.453,58	1.217	58.327.912	0,76
Itajaí	6	4	1,04	169,54	583	4.112.998	52,10
Itaquí	7	8	1,59	214,51	793	15.291.910	6,03
Natal	8	3	0,54	38,70	108	420.656	50,58
Paranaguá	9	21	4,45	641,53	2.874	41.771.840	0,58
Recife	10	16	2,95	140,98	415	1.708.283	212,47
Rio de Janeiro	11	31	5,49	453,93	1.872	8.232.282	0,07
Rio Grande	12	30	2,00	1.749,77	2.648	20.534.640	139,48
Salvador	13	10	2,09	66,41	1.162	3.986.205	2.505,01
Santos	14	65	15,96	1.481,31	6.944	99.074.789	0,13
São Francisco do Sul	15	5	1,53	81,44	797	13.029.826	3,61
Suape	16	11	3,49	411,20	1.928	12.771.661	60,70
Vila do Conde	17	12	2,44	166,00	955	14.396.511	74,40
Vitória	18	14	1,55	420,19	1.893	5.065.853	96,19
São Sebastião	19	4	1,29	271,00	85	654.828	154,89

Fonte: Elaboração Própria

#### 4.4 Aplicação do Método DEA

Para obter os resultados desejados pelo modelo *Two-Stage* DEA, foi utilizado o *software* SIMDEA. Este *software* foi escolhido por ser o único *software* gratuito a disponibilizar o

modelo NDEA baseado em Kao (2009), além dos modelos clássicos, conforme evidenciado por Soares et al. (2017).

Os resultados apresentados pelo modelo *Two-Stage* DEA foram as eficiências global, dos estágios e os pesos atribuídos às variáveis do problema. Entretanto, não é possível obter as informações acerca dos alvos e dos *benchmarks* neste modelo, conforme apresentado por Torres et al. (2016).

Posterior a aplicação do modelo *Two-Stage* DEA, o modelo CCR tradicional foi aplicado com o intuito de analisar o comportamento dos pesos atribuídos às variáveis e a formação das fronteiras em cada estágio, desconsiderando a relação entre ambos os estágios. Os resultados destas análises permitiram identificar os alvos e os *benchmarks* das DMUs ineficientes, além das DMUs que integram a fronteira de eficiência “em cada estágio” separadamente.

Para isto, foi utilizado o *software* SIAD por apresentar outros indicadores além dos índices de eficiência, tais como; Eficiência Invertida, Composta e Composta Normalizada (Composta\*) (MEZA et al., 2005).

## 5 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados do modelo *Two-Stage* DEA e, de forma independente, o modelo CCR orientado a *output*, aplicados em 19 portos marítimos brasileiros. Sendo assim, esta seção apresenta os resultados obtidos pelo SIAD e pelo SIMDEA para os modelos CCR e *Two-Stage* DEA, respectivamente.

### 5.1 Resultados do Modelo *Two-Stage* DEA Relacional Multiplicativo

Conforme apresentado em seção anterior, a eficiência global é o produto das eficiências do primeiro e do segundo estágios, logo, para obter o valor máximo na eficiência global é necessário que a DMU apresente elevados valores de eficiência em ambos estágios.

Nesta pesquisa, os valores dos índices de eficiências supracitados são apresentados na Tabela 4; eficiência global e as eficiências do primeiro e do segundo estágios, assim como a hierarquização dos portos mais eficientes a partir da eficiência global.

Tabela 4: Resultado das eficiências global, do primeiro e do segundo estágios do modelo *Two-Stage* DEA

Porto	DMU	Efic. 1º Estágio	Efic. 2º Estágio	Efic. Global	Hierarquização Efic. Global
Aratu-candeias	1	0,4779	0,0384	0,0184	11
Belém	2	1,0000	0,0188	0,0188	9
Fortaleza	3	0,8847	0,0210	0,0186	10
Imbituba	4	0,3892	0,0745	0,0290	5
Itaguaí	5	1,0000	0,0002	0,0002	16
Itajaí	6	0,5908	0,0399	0,0236	8
Itaqui	7	0,5054	0,0033	0,0017	14
Natal	8	0,2020	0,2146	0,0433	3
Paranaguá	9	0,6519	0,0001	0,0001	17
Recife	10	0,1548	0,2272	0,0352	4
Rio de Janeiro	11	0,3454	0,0000	0,0000	18
Rio Grande	12	1,0000	0,0244	0,0244	6
Salvador	13	0,8051	1,0000	0,8051	1
Santos	14	0,4505	0,0000	0,0000	18
São Francisco do Sul	15	1,0000	0,0013	0,0013	15
Suape	16	0,7073	0,0141	0,0100	13
Vila do Conde	17	0,5147	0,0275	0,0142	12
Vitória	18	1,0000	0,0241	0,0241	7
São Sebastião	19	0,0867	0,8085	0,0701	2

Fonte: Elaboração própria

No primeiro estágio, a eficiência média foi de 61,93%, onde o maior e o menor valor de eficiência foram 100% (portos de Belém, Itaguaí, Rio Grande, São Francisco do Sul e Vitória) e 8,67% (porto de São Sebastião), respectivamente (Tabela 4 e Figura 23).

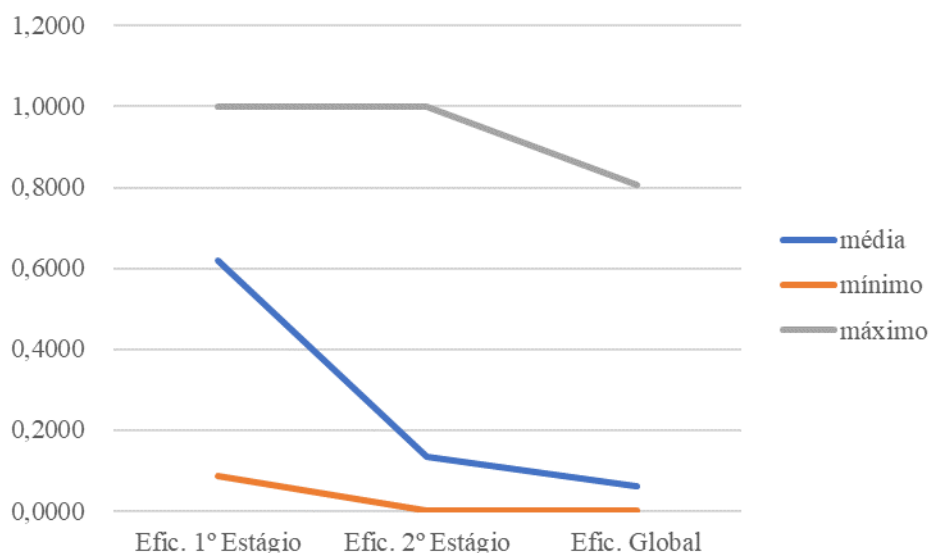


Figura 23: Valores médios, máximos e mínimos dos indicadores de eficiência global e do primeiro e segundo estágios do modelo *Two-Stage* DEA  
Fonte: Elaboração própria

No segundo estágio, a média foi de 13,36%, cujos valores máximos e mínimos vão de 100% (porto de Salvador) e zero (portos de Santos e Rio de Janeiro), respectivamente (Tabela 4 e Figura 23). Por fim, na eficiência global, a média foi de 5,99%, cujo maior valor foi de 80,51% (porto de Salvador) e o menor valor foi zero (portos de Santos e Reio de Janeiro).

A Figura 24 e a Figura 25 apresentam, respectivamente, o comportamento dos índices de eficiência da gestão das operações portuárias (1º estágio) e da gestão de resíduos sólidos (2º estágio). Na Figura 24, a linha do gráfico não se concentra no centro do gráfico, ou seja, de uma forma geral, os portos apresentaram melhor desempenho no primeiro estágio.

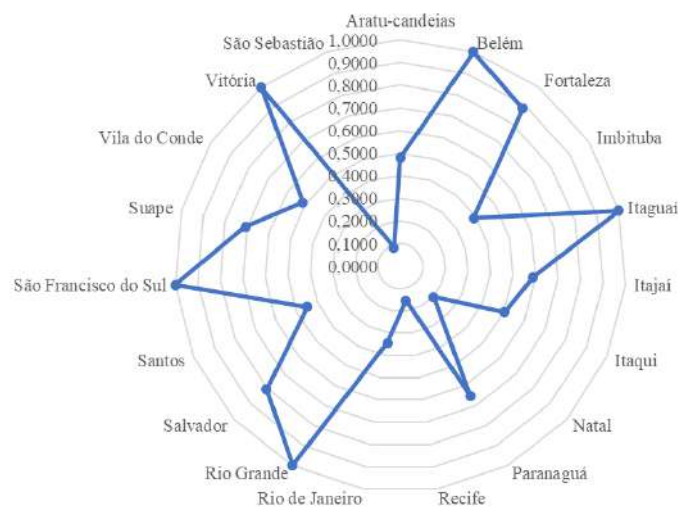


Figura 24: Resultado do índice de eficiência do primeiro estágio do modelo *Network Two-Stage* DEA.  
Fonte: Elaboração própria

Por outro lado, a Figura 25 expõe a baixa eficiência dos portos no segundo estágio, onde foi possível perceber a similaridade com a Figura 27, exceção dos portos de Salvador e São Sebastião, cuja linha do gráfico se mantém concentrada basicamente dentro do raio de 10% de eficiência.

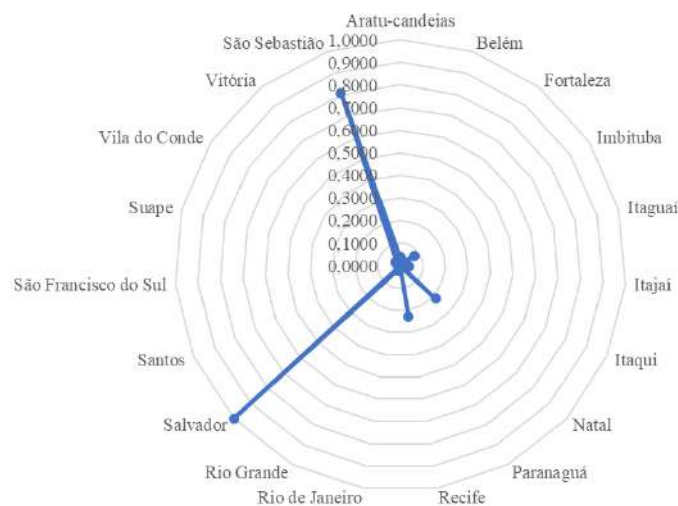


Figura 25: Resultado do índice de eficiência do segundo estágio do modelo *Network Two-Stage* DEA.  
Fonte: Elaboração própria

A Figura 26 apresenta os valores das eficiências do primeiro (eixo das abcissas) e do segundo estágios (eixo das ordenadas). A partir disto, observar-se que os portos, em geral, se concentram mais próximos do eixo das abcissas, o que torna evidente a baixa eficiência no segundo estágio, com exceção dos portos de Salvador e São Sebastião.

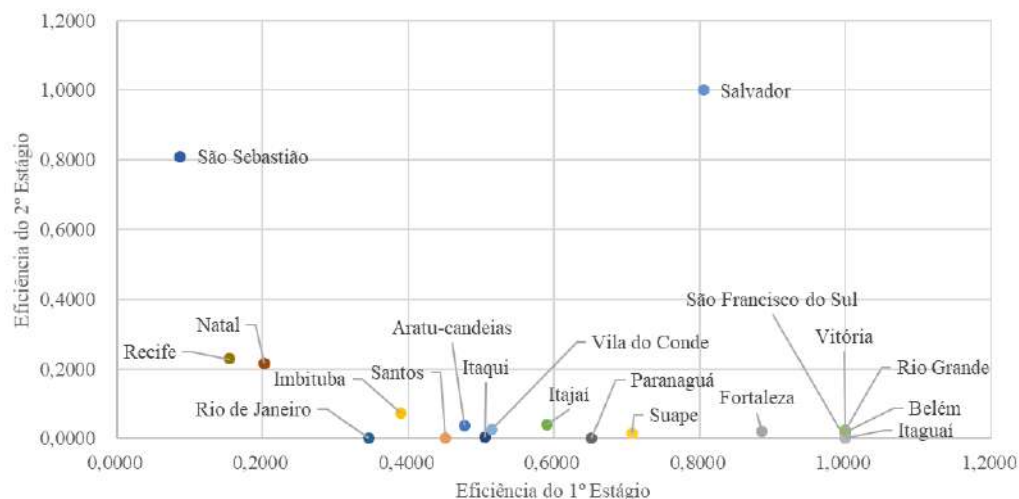


Figura 26: Relação das eficiências do primeiro e do segundo estágios  
Fonte: Elaboração própria

Além disto, é possível perceber uma maior aglomeração entre os valores da abscissa de 0,3 e 0,8, determinando que, em geral, os portos não apresentaram eficiência operacional satisfatória, penalizando ainda mais no cálculo da eficiência global.

Na Figura 27 é possível observar que a maior parte dos portos se situa no raio de até 10% de eficiência global. A exceção é o porto de Salvador que foi o único que apresentou o maior valor na eficiência global que foi de 80,51%, destacando-se no gráfico.

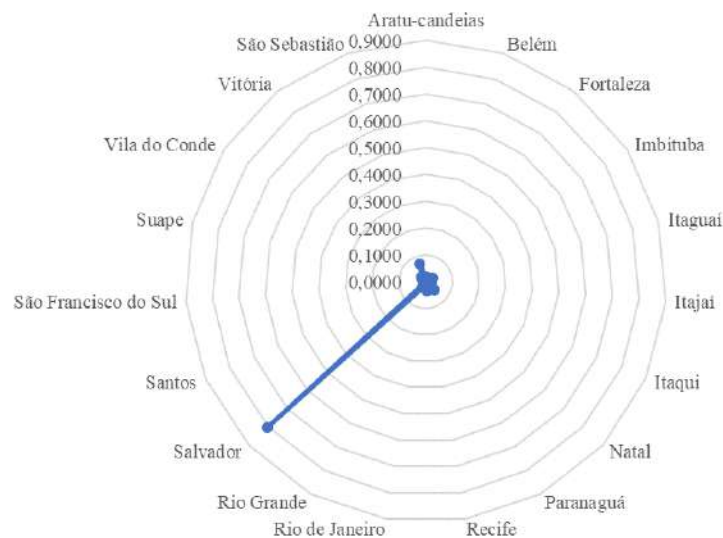


Figura 27:Resultado do indicador de eficiências global do modelo *Network Two-Stage* DEA.

Fonte: Elaboração própria

Dos 19 portos, apenas dois (10,52% da amostra) encontram-se distantes do eixo das abscissas que são; porto de Salvador e porto de São Sebastião, conforme será apresentado. Para isto, foi utilizado o *software* SIMDEA que, além dos índices de eficiência (Tabela 4), disponibiliza os valores dos pesos das variáveis do modelo *Two-Stage* DEA (Tabela 5).

Tabela 5: Pesos atribuídos às variáveis pelo modelo *Two-Stage* DEA

Porto	DMU	Qnt. Berço	Ext. Cais	Área Armaz.	Qnt. Atrac.	Mov. Carga	Resíduos. (1/RSU)
Aratu-candeias	1	1,798	34,860	0,000	0,041	0,000	0,020
Belém	2	0,000	0,000	0,986	0,031	0,000	0,021
Fortaleza	3	0,000	44,606	0,135	0,042	0,000	0,025
Imbituba	4	11,499	0,000	0,000	0,043	0,000	0,021
Itaguaí	5	120,813	2.342,310	0,000	2,783	0,000	1,308
Itajaí	6	10,603	0,000	0,000	0,040	0,000	0,019
Itaqui	7	15,328	297,183	0,000	0,353	0,000	0,166
Natal	8	0,000	39,744	0,042	0,039	0,000	0,020
Paranaguá	9	157,911	3.061,560	0,000	3,637	0,000	1,709
Recife	10	0,000	8,415	0,026	0,008	0,000	0,005
Rio de Janeiro	11	0,000	28.050,500	29,294	27,304	0,001	13,954
Rio Grande	12	0,028	19,810	0,001	0,016	0,000	0,007
Salvador	13	0,000	0,000	0,019	0,001	0,000	0,001
Santos	14	728,268	14.119,600	0,000	16,776	0,000	7,884
São Francisco do Sul	15	138,145	0,000	0,867	0,502	0,000	0,277
Suape	16	9,101	0,000	0,000	0,034	0,000	0,017
Vila do Conde	17	0,000	27,019	0,028	0,026	0,000	0,013
Vitória	18	0,000	20,899	0,022	0,020	0,000	0,011
São Sebastião	19	3,566	0,000	0,000	0,013	0,000	0,007

Fonte: Elaboração própria



O porto de Salvador apresentou a maior eficiência global (80,51%), cujo índice de eficiência da gestão de operação portuária (1º estágio) foi de 80,51% e o índice de eficiência da gestão de resíduos sólidos (2º estágio) foi de 100%, sendo o único porto eficiente neste último estágio por apresentar a menor geração de resíduos da amostra (Tabela 4 e Figura 26).

Para isto, o modelo desconsiderou as variáveis quantidade de berços, extensão de cais e carga movimentada das análises, considerando a área de armazenagem (0,0187), quantidade de atracções (0,0006) e inverso da geração de resíduos sólidos (0,0004) (Tabela 5).

O porto de São Sebastião foi o segundo mais eficiente da amostra, apresentando valor de 7,01% de eficiência global (Tabela 4). Ao analisar o desempenho da gestão de operação portuárias, este porto foi o mais ineficiente da amostra, com o índice de eficiência de 8,67%. Entretanto, na análise da eficiência da gestão de resíduos sólidos, sua eficiência foi de 80,85%, dado que este foi o terceiro porto que menos gerou resíduos sólidos e o que apresentou a menor quantidade de atracções da amostra.

No cálculo do índice de eficiência, o modelo *Two-Stage* DEA desconsiderou as variáveis extensão de cais, área de armazenamento e movimentação de carga, atribuindo valor zero nestas variáveis. A maior importância foi atribuída na variável quantidade de berços (Tabela 5).

Em seguida, os portos de Natal e Recife apresentaram eficiência global de 4,33% e 3,52%, respectivamente. Na hierarquização da eficiência da gestão das operações portuárias, o porto de Natal foi o terceiro mais ineficiente, cujo valor da eficiência foi de 20,20%. Não muito diferente, o porto do Recife foi o segundo mais ineficiente, com valor de 15,48%.

Na análise da gestão de resíduos sólidos, o porto de Natal foi o quarto mais eficiente (21,72%) e o porto do Recife foi o terceiro mais eficiente (23,75%), dado que este último foi o segundo porto que menos gerou resíduos da amostra.

No porto de Natal e do Recife, o modelo desconsiderou as variáveis quantidade de berços e carga movimentada, atribuindo o maior peso à variável extensão de cais (39,744 e 8,415, respectivamente). E, nas demais variáveis, os valores foram; a área de armazenagem 0,0415

e 0,0255, respectivamente; a quantidade de atracções 0,0387 e 0,0079; e a geração de resíduos 0,0198 e 0,0047, respectivamente (Tabela 5).

Os portos do Rio de Janeiro e de Santos, sendo este último o maior porto do Brasil, apresentaram valores zero nas respectivas eficiências globais. O mau resultado neste indicador é justificado pelo desempenho destes portos na gestão de resíduos sólidos, cujo índice de eficiência foi zero, sendo estes os maiores geradores de resíduos sólidos da amostra.

Ao analisar os pesos atribuídos às variáveis do porto do Rio de Janeiro, o modelo desconsiderou a quantidade de berços. Na variável extensão de cais, o modelo atribuiu o maior peso (28.050,50). Nas demais variáveis, o modelo atribuiu os seguintes valores de importância; 29,294 para a área de armazenagem, 27,304 para a quantidade de atracções, 0,0008 para a carga movimentada e 13,954 para a geração dos resíduos (Tabela 5).

Os portos de Belém, Rio Grande e Vitória foram eficientes apenas na análise da eficiência da gestão de operações portuárias, sendo penalizados na análise da eficiência da gestão de resíduos sólidos, que apresentou eficiências de 1,88%, 2,44% e 2,41%, respectivamente. Ao analisar a eficiência da gestão de resíduos sólidos, o porto de Belém foi o sexto que mais gerou resíduo, o sétimo que mais atracou e o 15º que mais movimentou cargas, tendo maior importância atribuída pelo modelo na atracção (Tabela 5).

Nas variáveis de infraestrutura, o modelo atribuiu maior importância a variável extensão de cais (32,280) diante das variáveis de quantidade de berços (2,894) e área de armazenagem (0,0454), conforme é possível observar na Tabela 5.

O porto de Rio Grande foi o quarto que menos gerou resíduos, mas o terceiro que mais atracou e o quarto que mais movimentou cargas da amostra. Dentre estas três variáveis, o modelo atribuiu maior peso para a quantidade de atracções (0,0155) do que para a geração de resíduos (0,0072) e movimentação de carga (0,0000). O porto de Vitória foi o quinto que menos gerou resíduos, cujo peso atribuído foi de 0,0104, mas o quinto que mais atracou (0,0203) da amostra e o 12º que mais movimentou cargas (0,0000) (Tabela 5).

O décimo porto que apresentou o maior valor no índice de eficiência global (1,86%) foi o porto de Fortaleza, onde ao analisar a eficiência da gestão da operação portuária foi o sétimo (88,47%) mais eficiente e, na análise da eficiência da gestão de resíduos foi o nono mais eficiente (2,10%) da amostra.

Para isto, o modelo atribuiu maior peso a extensão de cais (44,606), desconsiderou a quantidade de berços e a carga movimentada, atribuindo pesos as variáveis área de armazenagem (0,1353), atracações (0,0417) e geração de resíduos (0,0249).

O porto de Itaguaí movimentou cerca de 58 milhões de toneladas de carga, sendo o segundo que mais movimentou carga no ano de 2013, atrás apenas do porto de Santos. Diante disto, o porto de Itaguaí tem elevada importância no sistema portuário brasileiro e, principalmente, para o Estado do Rio de Janeiro por ser o porto que mais movimentou no Estado.

Apesar disto, o porto de Itaguaí foi o quarto mais ineficiente da amostra, no âmbito da eficiência global. As práticas gerenciais para reduzir à geração de resíduos foram insuficientes, cujo valor do índice de eficiência ao analisar a gestão de resíduos sólidos foi de 0,0002%. No entanto, as práticas gerenciais que dizem respeito a gestão das operações portuárias culminaram no grupo de portos situados na fronteira de eficiência.

O porto de Itaquí foi o sexto mais ineficiente da amostra, sendo o 12º porto mais eficiente (50,54%) no primeiro estágio. Na análise da eficiência da gestão de resíduos sólidos, o porto foi o quinto mais ineficiente da amostra, cujo valor do índice de eficiência foi de 0,33%.

Na análise dos pesos (Tabela 5), o modelo desconsiderou a área de armazenagem e carga movimentada e atribuiu valor de pesos de 15,238 e 297,183, respectivamente, para a quantidade de berços e extensão de cais. Para a variável intermediária atracação e para o *output* exógeno, o modelo atribuiu 0,3531 e 0,1659, respectivamente.

O porto de Paranaguá foi o terceiro maior porto em movimentação de cargas no ano de 2013, com uma quantidade aproximada de 41 milhões de toneladas. Apesar disto, este porto foi o terceiro mais ineficiente da amostra, sendo o nono mais eficiente na gestão da operação

portuária (65,19%). Por outro lado, foi o 17º mais eficiente dos 19 portos da amostra, com 0,01% de eficiência ao analisar a eficiência da gestão de resíduos sólidos.

Para isto, o modelo desconsiderou a área de armazenagem e carga movimentada, atribuindo maior peso a variável extensão de cais (3.06,56) e 157,911 na variável quantidade de berços. Apesar disto, o modelo atribuiu valor de importância de 3,637 na quantidade de atracações e 1,7094 na variável que diz respeito à geração de resíduos (Tabela 5).

O porto de São Francisco do Sul foi o quinto mais ineficiente da amostra, ao considerar a eficiência global (0,13%), apesar de ser um dos portos eficientes ao analisar a eficiência da gestão da operação portuária. Na análise da eficiência da gestão de resíduos sólidos, o porto foi o 15º mais eficiente, cujo valor do índice de eficiência foi de 0,130% (Tabela 4).

Ao observar as variáveis de infraestrutura na Tabela 5, o modelo considerou apenas a quantidade de berços e a área de armazenagem no cálculo da eficiência, atribuindo valor de 138,145. A importância atribuída pelo modelo a quantidade de atracações e geração de resíduos foi de 0,5022 e 0,277, respectivamente.

O porto de Suape foi o 13º mais eficiente da amostra, com um valor de índice de eficiência de 1,000%. Na análise da eficiência da gestão da operação portuária, o porto foi o oitavo mais eficiente da amostra, com 70,73% de eficiência. Na análise da eficiência da gestão de resíduos, este foi o sétimo mais ineficiente da amostra, cujo valor do índice de eficiência foi de 1,41% (Tabela 4).

Para isto, o modelo também desconsiderou a extensão de cais, a área de armazenagem e carga movimentada e atribuiu importância de 9,1005 à variável quantidade de berços. Na quantidade de atracações e geração de resíduos, os valores foram de 0,0342 e 0,0165 respectivamente (Tabela 5).

Por outro lado, alguns portos foram mais eficientes na análise da eficiência da gestão de resíduos sólidos do que na análise da eficiência gestão das operações portuárias, como é o caso do porto de Aratu-Candeias. Este porto foi o 11º mais eficiente no indicador global, onde na análise da eficiência da gestão de operação portuária, o porto foi o 13º mais eficiente,

cujo índice de eficiência foi de 47,79%. Na análise da eficiência da gestão de resíduos, o porto foi o sétimo mais eficiente, apresentando o valor de eficiência de 3,84% (Tabela 4).

Para isto, a importância atribuída às variáveis quantidade de berços, extensão de cais e área de armazenagem foram; 1,798, 34,859 e zero, respectivamente. Além disto, foi atribuído valor de 0,041, 0,000 e 0,0195, respectivamente, para a quantidade de atracções, carga movimentada e geração de resíduos (Tabela 5).

O porto de Imbituba foi quinto porto mais eficiente (2,90%), no âmbito da eficiência global, da amostra, sendo o quarto mais ineficiente (38,92%) na análise da eficiência da gestão de operação portuária e, na análise da eficiência da gestão de resíduos sólidos foi o quinto mais eficiente (7,45%), onde, neste último estágio foi o 11º que menos gerou resíduos da amostra (Tabela 4).

No porto de Imbituba, das variáveis de infraestrutura, o modelo considerou apenas à quantidade berços (11,499) e atribuiu 0,043, 0,000 e 0,0208, respectivamente para a quantidade de atracções, carga movimentada e geração de resíduos (Tabela 5).

O porto de Itajaí foi o oitavo mais eficiente ao considerar o índice de eficiência global (2,36%). Na análise da eficiência da gestão de operação portuária, o porto em questão foi 59,08% eficiente, o que corresponde ao 10º porto mais eficiente da amostra. Na análise da eficiência da gestão de resíduos sólidos, este foi o 6º mais eficiente da amostra, cujo valor do índice de eficiência foi de 3,99%, conforme é possível observar na Tabela 4.

Ao analisar o grau de importância atribuído pelo modelo *Network Two-Stage* DEA, observa-se que as variáveis área de armazenagem, e carga movimentada foram desconsideradas. Para o cálculo da eficiência, o modelo considerou a quantidade de berços (15,328), a extensão de cais (297,18), quantidade de atracções (0,3531) e geração de resíduos (0,1659).

Por último, o porto de Vila do Conde foi o sexto porto que mais movimentou carga da amostra no ano de 2013, com um montante aproximado de 14 milhões de toneladas. O porto foi o 11º mais eficiente da amostra no primeiro estágio (51,47%). No segundo estágio, o porto foi o 8º mais eficiente da amostra, onde o valor da eficiência foi de 2,75%. A partir

destes índices de eficiência, o porto de Vila do Conde apresentou o valor de 1,42% de eficiência global, sendo este o 12º maior valor de eficiência global da amostra.

## **5.2 Resultado da Análise Independente dos Estágios**

Nesta subseção é analisado os estágios de forma independente entre si, onde o modelo *Two-Stage* DEA relacional multiplicativo não é considerado, mas sim, o modelo DEA CCR tradicional orientado a *output*.

Nesta análise, o modelo CCR apresentou os índices de eficiência padrão e invertida, Composta e Composta Normalizadas (Composta\*), o que permitiu uma maior discriminação para fronteiras com múltiplas DMUs. Além disto, foi possível identificar os alvos e os *benchmarks* das DMUs ineficientes.

No primeiro estágio, assim como no modelo *Two-Stage* DEA, os portos mais eficientes foram os portos de Belém, Itaguaí, Rio Grande, São Francisco do Sul e Vitória. Entretanto, ao analisar a Composta\*, o porto que apresentou o menor índice da invertida foi o porto de São Francisco do Sul cujo valor foi de 13,33%, conforme é possível observar na Tabela 6.

Para isto, o modelo desconsiderou as variáveis quantidade de berços, extensão de cais e carga movimentada, atribuindo pesos nas variáveis área de armazenagem (0,0123) e atracação (0,0004), conforme é possível observar na Tabela 7.

A partir do índice da Composta\*, o porto de Paranaguá foi o que apresentou o segundo maior índice na Composta\*, apesar de não se situar na fronteira de eficiência. Isto é possível diante do valor do índice de eficiência padrão (93,78%) ser próximo de 100% e do valor do índice da invertida (15,52%) ser baixo.

Para se tornar eficiente, este porto deve apresentar as mesmas características operacionais que o porto de Belém, Itaguaí e São Francisco do Sul, tendo este último como seu principal *benchmark* (Tabela 8). Para se tornar eficiente, o porto de Paranaguá deve aumentar 6,62% a quantidade de atracações e cargas movimentadas, além de reduzir a quantidade de berços, reduzindo dos atuais 21 para 16 berços, conforme é possível observar na Tabela 9.

Tabela 6: Índices de eficiência padrão, invertida, composta, composta normalizada e hierarquização

Portos	DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta*	Ranking
Aratu-candeias	1	0,60509	0,21040	0,69735	0,74715	14
Belém	2	1,00000	0,21852	0,89074	0,95435	3
Fortaleza	3	0,88470	0,15368	0,86551	0,92732	5
Imbituba	4	0,38922	0,31397	0,53762	0,57602	15
Itaguaí	5	1,00000	0,37463	0,81269	0,87073	8
Itajaí	6	0,59076	0,15073	0,72002	0,77144	12
Itaqui	7	0,87180	0,21438	0,82871	0,88790	6
Natal	8	0,20412	0,78961	0,20726	0,22206	17
Paranaguá	9	0,93783	0,15527	0,89128	0,95493	2
Recife	10	0,15482	1,00000	0,07741	0,08294	18
Rio de Janeiro	11	0,34963	0,42327	0,46318	0,49626	16
Rio Grande	12	1,00000	0,24102	0,87949	0,94230	4
Salvador	13	0,80512	0,29352	0,75580	0,80978	10
Santos	14	0,70097	0,19891	0,75103	0,80466	11
São Francisco do Sul	15	1,00000	0,13331	0,93334	1,00000	1
Suape	16	0,70728	0,13914	0,78407	0,84007	9
Vila do Conde	17	0,69063	0,26702	0,71181	0,76264	13
Vitória	18	1,00000	0,35167	0,82417	0,88302	7
São Sebastião	19	0,08670	1,00000	0,04335	0,04645	19

Fonte: Elaboração própria

Para isto, o modelo DEA desconsiderou as variáveis quantidade de berços e carga movimentada, considerando no cálculo da eficiência as variáveis extensão de cais (0,1668), área de armazenagem (0,0005) e quantidade de atracções (0,0002) (Tabela 7).

Em seguida, os portos de Belém e Rio Grande foram eficientes, apresentando valor no índice da invertida de 21,85% e 24,10%, respectivamente, sendo o porto de Belém mais eficiente que o porto do Rio Grande.

Para isto, o modelo DEA considerou as variáveis quantidade de berços (0,200) e atracções (0,0008) para calcular a eficiência do porto de Belém, desconsiderando as demais variáveis. No porto do Rio Grande, o modelo DEA considerou a extensão de cais (0,500) e atracção (0,0004) desconsiderando também as demais variáveis.

O porto de Fortaleza obteve índice de eficiência padrão e invertida de 88,47% e 15,36%, respectivamente, resultando quinto maior valor da Composta\*. Para isto, o modelo DEA

desconsiderou as variáveis quantidade de berços e carga movimentada, atribuindo pesos nas demais variáveis, conforme é possível observar na Tabela 7.

Os portos de Belém, Itaguaí e São Francisco do Sul são as referências para o porto de Fortaleza, apresentando valores de *benchmarks* 0,3994, 0,0001 e 0,3508, respectivamente. Para se tornar eficiente, o porto de Fortaleza deve aumentar 13,03% a quantidade de atracções e de carga movimentada, além de ter uma folga de 24,97% na quantidade de berços (Tabela 9).

O porto do Itaqui apresentou o sexto maior valor na Composta\*, cujo valor dos índices de eficiência padrão e invertida foram 87,18% e 21,43%, respectivamente. Para isto, o modelo desconsiderou as variáveis quantidade de berços e carga movimentada. Das variáveis consideradas, o modelo atribuiu o maior peso na variável extensão de cais (0,5121), por considerar que esta variável beneficia o porto no cálculo da eficiência padrão.

O porto de São Francisco do Sul foi a principal referência para o porto do Itaqui. Além deste *benchmark*, os portos de Belém e Itaguaí também são referências para o porto de Itaqui (Tabela 8). Para se tornar eficiente, o porto do Itaqui deve aumentar em 14,70% a quantidade de atracções e carga movimentada, além de reduzir a quantidade de berços em 31,51% (Tabela 9).

O porto de Itaguaí apresentou o oitavo maior valor na Composta\*, sendo eficiente nas melhores práticas gerenciais e, ao observar as piores práticas gerenciais, o índice da invertida foi de 37,46%. Para isto, o modelo considerou apenas a quantidade de berços (0,1429), desconsiderando as demais variáveis do cálculo dos índices de eficiência (Tabela 7).

O porto de vitória apresentou o sétimo maior valor na Composta\*, apesar deste se situar na fronteira de eficiência e estar distante da fronteira invertida, cujo índice foi de 35,16%. Para isto, o modelo DEA considerou apenas a extensão de cais (0,6452) e atracção (0,0018).



Tabela 7: Pesos atribuídos pelo modelo CCR tradicional na análise da eficiência da gestão das operações portuárias

Portos	DMU	Berço	Cais	Armazém	Atracação	Carga
Aratu-candeias	1	0,0000	0,9731	0,0030	0,0009	0,0000
Belém	2	0,2000	0,0000	0,0000	0,0008	0,0000
Fortaleza	3	0,0000	0,9369	0,0028	0,0009	0,0000
Imbituba	4	0,8564	0,0000	0,0000	0,0032	0,0000
Itaguaí	5	0,1429	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Itajaí	6	0,4232	0,0000	0,0000	0,0016	0,0000
Itaqui	7	0,0000	0,5121	0,0016	0,0005	0,0000
Natal	8	0,0000	7,4519	0,0226	0,0070	0,0000
Paranaguá	9	0,0000	0,1668	0,0005	0,0002	0,0000
Recife	10	0,0000	1,9123	0,0058	0,0018	0,0000
Rio de Janeiro	11	0,0000	0,4166	0,0013	0,0004	0,0000
Rio Grande	12	0,0000	0,5000	0,0000	0,0004	0,0000
Salvador	13	0,0000	0,0000	0,0187	0,0006	0,0000
Santos	14	0,0000	0,0697	0,0002	0,0001	0,0000
São Francisco do Sul	15	0,0000	0,0000	0,0123	0,0004	0,0000
Suape	16	0,1285	0,0000	0,0000	0,0005	0,0000
Vila do Conde	17	0,0000	0,4919	0,0015	0,0005	0,0000
Vitória	18	0,0000	0,6452	0,0000	0,0018	0,0000
São Sebastião	19	2,8834	0,0000	0,0000	0,0108	0,0000

Fonte: Elaboração própria

Os portos de Suape e Salvador apresentaram índices de eficiência padrão de 70,73% e 80,51%, respectivamente, os mesmos resultados apresentados no modelo *Network Two-Stage* DEA, e índice da invertida de 13,91% e 29,35%, o que resultou no nono e décimo, respectivamente, valores mais altos na Composta\* (Tabela 6). No porto de Suape, o modelo considerou apenas as variáveis quantidade de berços (0,1285) e atracação (0,0005). E para o porto de Salvador, o modelo considerou apenas a área de armazenagem (0,0187) e atracação (0,0006), conforme é possível observar na Tabela 7.

Os *benchmarks* do porto de Suape são os portos de Belém e Itaguaí, sendo o primeiro a principal referência (Tabela 8). Para se tornar eficiente, o porto de Suape deve aumentar 41,39% a quantidade de carga e carga movimentada, além de ter uma folga de 21,11% na extensão de cais (redução de 0,74 Km) e de 1,9% na área de armazenagem (redução de 7,94 Km<sup>2</sup>) (Tabela 9).

O porto de Salvador considera o porto de Belém e de São Francisco do Sul seus *benchmarks*, sendo o primeiro sua principal referência para a gestão da operação portuária. Para se tornar eficiente, o porto de Salvador deve aumentar em 24,21% a quantidade de atracções e carga movimentada, além de reduzir em 41,8% a quantidade de berços e 26,4% a extensão de cais.

O porto de Santos apresentou índice de eficiência padrão e invertida de 70,09% e 19,89%, respectivamente. Para isto, o modelo considerou a extensão de cais (0,0697), área de armazenagem (0,0002) e atracção (0,0001) (Tabela 7).

Os *benchmarks* do porto de Santos foram os portos de Belém, Itaguaí e São Francisco do Sul, sendo este último a principal referência para o porto (Tabela 8). Para se tornar eficiente, o porto de Santos deve em 42,66% a quantidade de atracções e movimentação de carga, além de ter uma folga de 15,3% na quantidade de berços (Tabela 9).

Os portos de Aratu-Candeias e Vila do Conde apresentaram índices de eficiência padrão de 60,50% e 69,03%, respectivamente. Na invertida, os portos apresentaram, respectivamente, 21,04% e 26,70% (Tabela 6). Para isto, em ambos os portos, o modelo desconsiderou as variáveis quantidade de berços e carga movimentada. Nas variáveis consideradas para o cálculo das eficiências, o modelo atribuiu maior peso na variável extensão de cais, em ambos os portos (Tabela 7).

O porto de Aratu-Candeias considerou o porto de Belém a sua principal referência, tendo, também, os portos de Itaguaí e São Francisco do Sul (Tabela 8). Para se tornar eficiente, o porto de Aratu-Candeias deve aumentar 65,27% a quantidade de atracção e movimentação de carga, além de ter uma folga de 22,51% na quantidade de berços (Tabela 9).

O porto do Rio de Janeiro, principal porto da cidade do Rio de Janeiro apresentou índice de eficiência padrão de 34,96% e de invertida de 42,32% sendo 16º mais eficiente da amostra, ou o terceiro mais ineficiente. Para se tornar eficiente, o porto deve aumentar em 186,02% a quantidade de atracções e a movimentação de carga. Além disto, há uma folga de 31,17% na quantidade de berços disponíveis no porto.

Tabela 8: Índices de *benchmark* do modelo DEA CCR, em que analisa a eficiência da gestão da operação portuária

Porto	DMU	Belém	Itaguaí	Rio Grande	São Francisco do Sul	Vitória
Aratu-candeias	1	0,5100	0,0637	0,0000	0,3307	0,0000
Belém	2	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fortaleza	3	0,3994	0,0001	0,0000	0,3508	0,0000
Imbituba	4	0,4828	0,0837	0,0000	0,0000	0,0000
Itaguaí	5	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Itajaí	6	0,6846	0,0824	0,0000	0,0000	0,0000
Itaqui	7	0,0536	0,0946	0,0000	0,9097	0,0000
Natal	8	0,3899	0,0114	0,0000	0,0128	0,0000
Paranaguá	9	0,9553	0,3034	0,0000	1,8296	0,0000
Recife	10	1,8368	0,0083	0,0000	0,3661	0,0000
Rio de Janeiro	11	3,8896	0,1592	0,0000	0,1550	0,0000
Rio Grande	12	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
Salvador	13	1,0344	0,0000	0,0000	0,1302	0,0000
Santos	14	2,1687	0,4807	0,0000	8,1716	0,0000
São Francisco do Sul	15	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
Suape	16	1,9109	0,2065	0,0000	0,0000	0,0000
Vila do Conde	17	0,1571	0,0278	0,0000	1,4372	0,0000
Vitória	18	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
São Sebastião	19	0,6693	0,0934	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: Elaboração própria

O porto de São Sebastião apresentou índice de eficiência padrão de 8,67% e 100% na invertida, resultando no porto mais ineficiente da amostra no que tange à gestão da operação portuária. O porto de Belém é a principal referência, tendo, também, o porto de Itaguaí (Tabela 8). Para se tornar eficiente, o porto deve aumentar em 1.053,35% a quantidade de atracções e a movimentação da carga, além de ter uma folga de 23,04% na extensão de cais (redução em 0,30 Km) e de 36,59% na área de armazenagem (redução de 99,16 Km<sup>2</sup>) (Tabela 9).

Tabela 9: Alvos e folgas das DMUs ineficientes apresentado pelo modelo DEA CCR orientado a *output* na análise da eficiência da gestão da operação portuária

Aratu-Candeias	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	6	6	1,35	4,65
	Cais	1,25	1,25	0,00	1,25
	Armazém	147,01	147,01	0,00	147,01
	Atracação	606	1.001,51	0,00	1.001,51
	Carga	5.825.663	9.627.832,75	0,00	9.627.832,75
Rio de Janeiro	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	31	31	9,66	21,34
	Cais	5,49	5,49	0,00	5,49
	Armazém	453,93	453,93	0,00	453,93
	Atracação	1.872	5.354,24	0,00	5.354,24
	Carga	8.232.282	23.545.739,17	0,00	23.545.739,17
Belém	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	5	5	0,00	5
	Cais	1,30	1,30	0,00	1,30
	Armazém	53,96	53,96	0,00	53,96
	Atracação	1.295	1.295	0,00	1.295
	Carga	3.146.816	3.146.816	0,00	3.146
Rio Grande	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	30	30	0,00	30
	Cais	2	2	0,00	2
	Armazém	1.749,77	1.749,77	0,00	1.749,77
	Atracação	2.648	2.648	0,00	2.648
	Carga	20.534.640	20.534.640	0,00	20.534.640
Fortaleza	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	5	5	1,25	3,75
	Cais	1,05	1,05	0,00	1,05
	Armazém	50,27	50,27	0,00	50,27
	Atracação	705	796,88	0,00	796,88
	Carga	5.160.709	5.833.275,25	0,00	5.833.275,25
Salvador	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	10	10	4,18	5,82
	Cais	2,09	2,09	0,55	1,54
	Armazém	66,41	66,41	0,00	66,41
	Atracação	1.162	1.443,27	0,00	1.443,27
	Carga	3.986.205	4.951.082,20	0,00	4.951.082,20
Imbituba	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	3	3	0,00	3
	Cais	0,91	0,91	0,17	0,74
	Armazém	283,29	283,29	135,54	147,75
	Atracação	283	727,10	0,00	727,10
	Carga	2.492.026	6.402.664,12	0,00	6.402.664,12
Santos	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	65	65	9,93	55,07
	Cais	15,96	15,96	0,00	15,96
	Armazém	1.481,31	1.481,31	0,00	1.481,31
	Atracação	6.944	9.906,29	0,00	9.906,29
	Carga	99.074.789	141.339.793,27	0,00	141.339.793,27

Itaguaí	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	7	7	0,00	7
	Cais	1,35	1,35	0,00	1,35
	Armazém	1.453,58	1.453,58	0,00	1.453,58
	Atracação	1.217	1.217	0,00	1.217
	Carga	58.327.912	58.327.912	0,00	58.327.912

São Francisco do Sul	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	5	5	0,00	5
	Cais	1,53	1,53	0,00	1,53
	Armazém	81,44	81,44	0,00	81,44
	Atracação	797	797	0,00	797
	Carga	13.029.826	13.029.826	0,00	13.029.826

Itajaí	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	4	4	0,00	4
	Cais	1,04	1,04	0,04	1
	Armazém	169,54	169,54	12,78	156,76
	Atracação	583	986,87	0,00	986,87
	Carga	4.112.998	6.962.267,09	0,00	6.962.267,09

Suape	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	11	11	0,00	11
	Cais	3,49	3,49	0,74	2,75
	Armazém	411,20	411,20	7,94	403,26
	Atracação	1.928	2.725,93	0,00	2.725,93
	Carga	12.771.661	18.057.407,38	0,00	18.057.407,38

Itaquí	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	8	8	2,52	5,48
	Cais	1,59	1,59	0,00	1,59
	Armazém	214,51	214,51	0,00	214,51
	Atracação	793	909,61	0,00	909,61
	Carga	15.291.910	17.540.567,34	0,00	17.540.567,34

Vila do Conde	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	12	12	3,83	8,17
	Cais	2,44	2,44	0,00	2,44
	Armazém	166	166	0,00	166
	Atracação	955	1.382,80	0,00	1.382,80
	Carga	14.396.511	20.845.506,38	0,00	20.845.506,38

Natal	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	3	3	0,91	2,09
	Cais	0,54	0,54	0,00	0,54
	Armazém	38,70	38,70	0,00	38,70
	Atracação	108	529,09	0,00	529,09
	Carga	420.656	2.060.783,74	0,00	2.060.783,74

Vitória	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	14	14	0,00	14
	Cais	1,55	1,55	0,00	1,55
	Armazém	420,19	420,19	0,00	420,19
	Atracação	1.893	1.893	0,00	1.893
	Carga	5.065.853	5.065.853	0,00	5.065.853

Paranaguá	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	21	21	4,95	16,05
	Cais	4,45	4,45	0,00	4,45
	Armazém	641,53	641,53	0,00	641,53
	Atracação	2.874	3.064,53	0,00	3.064,53
	Carga	41.771.840	44.541.031,95	0,00	44.541.031,95

São Sebastião	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	4	4	0,00	4
	Cais	1,29	1,29	0,30	0,99
	Armazém	271	271	99,16	171,84
	Atracação	85	980,35	0,00	980,35
	Carga	654.828	7.552.465,47	0,00	7.552.465,47

Recife	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Berço	16	16	4,93	11,07
	Cais	2,95	2,95	0,00	2,95
	Armazém	140,98	140,98	0,00	140,98
	Atracação	415	2.680,53	0,00	2.680,53
	Carga	1.708.283	11.034.004,99	0,00	11.034.004,99

Fonte: Elaboração própria

Ao analisar a eficiência da gestão de resíduos sólidos, conforme apresentado no segundo estágio do modelo *Network Two-Stage* DEA, o porto de Salvador foi único eficiente, cujo índice de eficiência padrão foi de 100% e invertida zero, resultando no maior índice da Composta\* (Tabela 10). Para isto, o modelo considerou apenas a variável geração de resíduos, desconsiderando a atracação e a carga movimentada, conforme é possível observar na Tabela 11.

Tabela 10: Índices de eficiência padrão, invertida, composta, composta normalizada (Composta\*) e hierarquização do modelo CCR orientado a *output* na análise da eficiência da gestão de resíduos sólidos

Portos	DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta*	Hierarquização (Composta*)
Aratu-candeias	1	0,0393	0,0002	0,5196	0,5196	7
Belém	2	0,0240	0,0005	0,5118	0,5118	12
Fortaleza	3	0,0264	0,0003	0,5130	0,5130	10
Imbituba	4	0,0787	0,0001	0,5393	0,5393	5
Itaguaí	5	0,0003	0,0977	0,4513	0,4513	17
Itajaí	6	0,0415	0,0002	0,5206	0,5206	6
Itaqui	7	0,0035	0,0032	0,5001	0,5001	14
Natal	8	0,2172	0,0000	0,6086	0,6086	4
Paranaguá	9	0,0001	0,0914	0,4543	0,4543	16
Recife	10	0,2375	0,0000	0,6187	0,6187	3
Rio de Janeiro	11	0,0000	0,4771	0,2614	0,2614	18
Rio Grande	12	0,0244	0,0003	0,5120	0,5120	11
Salvador	13	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1
Santos	14	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	19
São Francisco do Sul	15	0,0021	0,0046	0,4987	0,4987	15
Suape	16	0,0146	0,0006	0,5070	0,5070	13
Vila do Conde	17	0,0361	0,0002	0,5179	0,5179	8
Vitória	18	0,0302	0,0004	0,5149	0,5149	9
São Sebastião	19	0,8453	0,0000	0,9226	0,9226	2

Fonte: Elaboração própria

Nesta análise, o porto do Rio Grande foi o 10º porto mais eficiente da amostra, cujos índices de eficiência padrão e invertida foram 2,44% e 0,0003%, respectivamente (Tabela 10). O índice de *benchmark* apresentado pelo modelo foi de 2,278 para o porto de Salvador, conforme é possível observar na Tabela 12.

Para se tornar eficiente, o porto do Rio Grande deve aumentar o inverso do resíduo em 3.992,62%, dos atuais 139,48 para 5.708,49. Ao converter estes valores na geração de

resíduos sólidos, a redução da geração dos resíduos é de 97,56%, dos atuais 71,69 para 1,75 toneladas anuais (Tabela 13).

O porto de São Sebastião apresentou o segundo maior valor para a Composta\*. Os índices de eficiência padrão e invertida foram 84,53% e zero, respectivamente (Tabela 10). Para isto, o modelo atribuiu pesos na variável atracação (0,0139) e geração de resíduos (0,0065) (Tabela 11).

O valor do *benchmark* foi de apenas 0,0731, o que significa que o porto de São Sebastião está próximo da fronteira de eficiência. Para se situar nesta última, é necessário reduzir 15,47% a quantidade de resíduos gerados, dos atuais 64,56 para 54,57 toneladas anuais (Tabela 13).

Tabela 11: Pesos atribuídos pelo modelo CCR orientado a *output*, na análise da eficiência da gestão dos resíduos sólidos

Portos	DMU	Atracação	Carga Movimentada	Inverso do Resíduo Sólidos
Aratu-candeias	1	0,0420	0,0000	0,0195
Belém	2	0,0000	0,0000	0,0210
Fortaleza	3	0,0538	0,0000	0,0249
Imbituba	4	0,0449	0,0000	0,0208
Itaguaí	5	2,8194	0,0000	1,3078
Itajaí	6	0,0414	0,0000	0,0192
Itaquí	7	0,3577	0,0000	0,1659
Natal	8	0,0426	0,0000	0,0198
Paranaguá	9	3,6852	0,0000	1,7094
Recife	10	0,0101	0,0000	0,0047
Rio de Janeiro	11	30,0811	0,0000	13,9537
Rio Grande	12	0,0155	0,0000	0,0072
Salvador	13	0,0000	0,0000	0,0004
Santos	14	16,9957	0,0000	7,8838
São Francisco do Sul	15	0,5972	0,0000	0,2770
Suape	16	0,0355	0,0000	0,0165
Vila do Conde	17	0,0290	0,0000	0,0134
Vitória	18	0,0000	0,0000	0,0104
São Sebastião	19	0,0139	0,0000	0,0065

Fonte: Elaboração própria

O porto do Rio de Janeiro apresentou índice de eficiência padrão e invertida zero e 47,71%, respectivamente, resultando no segundo porto mais ineficiente da amostra (Tabela 10). Para



isto, o modelo atribuiu peso na variável atracação (30,08) e no inverso da geração do resíduo (13,95) (Tabela 11). Além disto, o valor de referência para o porto de Salvador foi de 1,611 (Tabela 12).

Para se tornar eficiente, o porto do Rio de Janeiro deve aumentar em aproximadamente 56 mil vezes o valor do inverso do resíduo, o que, ao converter no valor real da geração de resíduos, a redução deve sair dos atuais 139.538,13 para apenas 2,48 toneladas anuais, conforme é possível observar na Tabela 13.

Tabela 12: Índice de referência apresentado pelo modelo DEA CCR orientado a *output*, na análise da eficiência da gestão dos resíduos sólidos

DMU	Salvador
Aratu-candeias	0,5215
Belém	0,7894
Fortaleza	0,6067
Imbituba	0,2435
Itaguaí	1,0473
Itajaí	0,5017
Itaqui	0,6824
Natal	0,0929
Paranaguá	2,4733
Recife	0,3571
Rio de Janeiro	1,6110
Rio Grande	2,2788
Salvador	1,0000
Santos	5,9759
São Francisco do Sul	0,6859
Suape	1,6592
Vila do Conde	0,8219
Vitória	1,2708
São Sebastião	0,0731

Fonte: Elaboração própria

Ao analisar a eficiência da gestão dos resíduos sólidos do porto de Santos foi possível constatar sua ineficiência diante dos demais portos analisados. Os índices de eficiências padrão e invertida foram zero e 100%, respectivamente (Tabela 10). O modelo DEA atribuiu peso de 16,99 e 7,88, respectivamente, nas variáveis de atracação e no inverso da geração de resíduos sólidos, desconsiderando a movimentação de carga (Tabela 11).

O valor de referência do porto de Santos foi de 5,976 (Tabela 12). Para se tornar eficiente, o porto de Santos deve aumentar o valor do inverso do resíduo em cerca de 118 mil vezes, dos atuais 0,13 para 14.969,70. Ao converter no valor real da geração de resíduos, a quantidade de resíduos sólidos gerados deve sair dos atuais 78.837,62 para apenas 0,67 toneladas anuais (Tabela 13).

Além disto, o modelo indica que há uma folga de 75,96% na quantidade de carga movimentada, ou seja, o porto deve reduzir dos atuais 99 milhões de toneladas, aproximadamente, para pouco mais de 23 milhões de toneladas. Entretanto, a redução desta variável implicaria na perda de produtividade do porto, o que não é razoável dado que esta é a atividade fim do porto. A folga no *input* evidencia que há um superdimensionamento em termos dos insumos diante da quantidade de *outputs* obtida.

A alteração na quantidade de cargas movimentadas no segundo estágio pode afetar os índices de eficiências obtidos no estágio anterior. Este problema não foi observado no modelo *Network Two-Stage* DEA, já que as equações deste modelo criam condições para que as variáveis intermediárias não sofram alterações no estágio subsequente, o que não é possível nos modelos DEA não relacionais.

Tabela 13: Alvos e folgas das DMUs ineficientes apresentados pelo modelo DEA CCR orientado a *output*, na análise da eficiência da gestão dos resíduos sólidos

Aratu-candeias	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo	Rio de Janeiro	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	606,00	606,00	0,00	606,00		Atracação	1.872,00	1.872,00	0,00	1.872,00
	1/RSU	51,38	1.306,40	0,00	1.306,40		1/RSU	0,07	4.035,61	0,00	4.035,61
	RSU	194,64	7,65	0,00	7,65		RSU	139.538,13	2,48	0,00	2,48
Belém	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo	Rio Grande	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	1.295,00	1.295,00	0,00	1.295,00		Atracação	2.648,00	2.648,00	0,00	2.648,00
	1/RSU	47,54	2.791,73	0,00	2.791,73		1/RSU	139,48	5.708,49	0,00	5.708,49
	RSU	210,3534	3,58	0,00	3,58		RSU	71,69	1,75	0,00	1,75
Fortaleza	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo	Salvador	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	705,00	705,00	0,00	705,00		Atracação	1.162,00	1.162,00	0,00	1.162,00
	1/RSU	40,08	1.519,82	0,00	1.519,82		1/RSU	2.505,01	2.505,01	0,00	2.505,01
	RSU	249,48	6,58	0,00	6,58		RSU	3,99	3,99	0,00	3,99
Imbituba	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo	Santos	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	283,00	283,00	0,00	283,00		Atracação	6.944,00	6.944,00	0,00	6.944,00
	1/RSU	48,04	610,08	0,00	610,08		1/RSU	0,13	14.969,70	0,00	14.969,70
	RSU	208,17	16,39	0,00	16,39		RSU	78.837,62	0,67	0,00	0,67
Itaguaí	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo	São Francisco do Sul	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	1.217,00	1.217,00	0,00	1.217,00		Atracação	797,00	797,00	0,00	797,00
	1/RSU	0,76	2.623,58	0,00	2.623,58		1/RSU	3,61	1.718,15	0,00	1.718,15
	RSU	13.078,47	3,81	0,00	3,81		RSU	2.770,46	5,82	0,00	5,82
Itajaí	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo	Suape	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	583,00	583,00	0,00	583,00		Atracação	1.928,00	1.928,00	0,00	1.928,00
	1/RSU	52,10	1.256,82	0,00	1.256,82		1/RSU	60,70	4.156,33	0,00	4.156,33
	RSU	191,94	7,96	0,00	7,96		RSU	164,75	2,41	0,00	2,41

Itaqui	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	793,00	793,00	0,00	793,00
	1/RSU	6,03	1.709,53	0,00	1.709,53
	RSU	1.659,34	5,85	0,00	5,85
Vila do Conde	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	955,00	955,00	0,00	955,00
	1/RSU	74,40	2.058,76	0,00	2.058,76
	RSU	134,41	4,86	0,00	4,86
Natal	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	108,00	108,00	0,00	108,00
	1/RSU	50,58	232,82	0,00	232,82
	RSU	197,71	42,95	0,00	42,95
Vitória	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	1.893,00	1.893,00	0,00	1.893,00
	1/RSU	96,19	4.080,88	0,00	4.080,88
	RSU	103,96	2,45	0,00	2,45
Paranaguá	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	2.874,00	2.874,00	0,00	2.874,00
	1/RSU	0,58	6.195,70	0,00	6.195,70
	RSU	17.094,44	1,61	0,00	1,61
São Sebastião	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	85,00	85,00	0,00	85,00
	1/RSU	154,89	183,24	0,00	183,24
	RSU	64,56	54,57	0,00	54,57
Recife	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
	Atracação	415,00	415,00	0,00	415,00
	1/RSU	212,47	894,65	0,00	894,65
	RSU	47,07	11,18	0,00	11,18

Fonte: Elaboração própria

O porto de Vitoria que foi eficiente na análise da eficiência da gestão da operação portuária. Entretanto, na gestão dos resíduos sólidos, o porto foi o nono mais eficiente da amostra, com um índice de eficiência padrão e invertida de 3,02% e 0,04%, respectivamente (Tabela 10). Para isto, o modelo considerou apenas a variável inverso do resíduo (0,0104) (Tabela 11).

O modelo atribuiu índice de referência de 1,271, dado que o porto de Salvador é o único *benchmark* da amostra (Tabela 12). Entretanto, para se tornar eficiente, o porto deve aumentar o valor do inverso dos resíduos em cerca de 32 vezes, dos atuais 96,19 para 3.183,48. Ao converter no valor real da geração de resíduos, o porto de Vitória deve reduzir cerca de 97%, dos atuais 103,96 para apenas 3,14 toneladas de resíduos sólidos anuais (Tabela 13).

Na análise da eficiência da gestão da operação portuária, o porto de Belém se situa na fronteira de eficiência. Entretanto, nesta análise, o porto foi o 12º mais eficiente da amostra, cujos valores para o índice de eficiência padrão e invertida foram de 2,40% e 0,05%, respectivamente (Tabela 10). Para isto, o modelo considerou apenas a variável inverso da geração de resíduos (0,021) (Tabela 11).

O índice de referência (*benchmark*) calculado pelo modelo foi de 0,7894 (Tabela 12). Para se tornar eficiente, o porto deve aumentar o valor do inverso da geração dos resíduos dos atuais 47,54 para 1.977,52. Ao convertê-los nos valores reais da geração dos resíduos, a redução é dos atuais 210,35 para apenas 5,06, uma redução de 97,60% (Tabela 13).

## 6 CONCLUSÃO

Esta dissertação realizou um estudo sobre a eficiência da gestão operacional portuária considerando a geração de resíduos como um resultado indesejado. Para isto, foi utilizado o método de Análise Envoltória de Dados (DEA) onde foi considerado o modelo *Network Two-Stage* DEA e o modelo clássico CCR.

Diante da importância do modo de transporte marítimo, a eficiência da gestão das operações portuárias é essencial para o desenvolvimento econômico do país, o que pode resultar numa vantagem competitiva para o setor produtivo brasileiro frente aos seus respectivos concorrentes internacionais.

Os apelos por procedimentos operacionais que minimizem os impactos ambientais devido das operações de carga e descarga são cada vez mais exigidos por diversos setores da sociedade civil, entidades públicas e privadas. Um dos principais impactos negativos apresentados por Gobbi (2015) foi a contaminação do meio ambiente devido aos resíduos sólidos gerados nas operações de carga e descarga e no armazenamento temporário de cargas.

Freitas et al. (2016b) afirmam que a geração de resíduos sólidos no setor portuário não é apenas uma questão de sustentabilidade, é um indicador de eficiência operacional, pois, portos que geram menos resíduos, em geral, tendem a perder menos cargas durante as operações de carga e descarga.

Diante disto, o problema desta pesquisa é analisar o desempenho dos portos, considerando a gestão das operações portuárias e da gestão de resíduos sólidos. A hipótese adotada nesta pesquisa foi que os portos geram menos resíduos quando sua gestão operacional é eficiente, dado a menor perda de cargas durante a movimentação das cargas. Entretanto, a partir dos resultados apresentados na seção 5, foi possível concluir que os portos eficientes na gestão operacional não foram eficientes na gestão dos resíduos sólidos, sendo esta hipótese refutada.

No modelo *Two-Stage* DEA, a eficiência global foi severamente prejudicada pelos índices de eficiência no segundo estágio. O porto de Salvador foi o que apresentou o maior índice de eficiência global, sendo o único *benchmark* no segundo estágio.

O porto de Santos, por sua vez, foi ineficiente na gestão dos resíduos sólidos por apresentar a maior quantidade de resíduos da amostra. E, na análise da eficiência da gestão da operação portuária, o porto apresentou índice de eficiência ruins, o que pode ser considerado também um porto ineficiente em suas operações.

No caso do porto de Santos, a hipótese que foi refutada nesta pesquisa faria sentido pois, assim como a gestão operacional é ineficiente, a gestão dos resíduos também foi ineficiente, sendo que esta não foi a realidade dos demais portos.

Na análise da eficiência da gestão das operações portuárias contou apenas com uma única variável indesejada; quantidade de resíduos sólidos gerados. Para estudos futuros, recomenda-se que sejam consideradas outras variáveis que estejam relacionadas com a redução da geração de resíduos nas operações portuárias, atualizar a quantidade de resíduos gerados nos portos marítimos brasileiros e utilizar portos internacionais e nacionais.

Além disto, para estudos futuros recomenda-se aprofundar os conceitos acerca da aplicação do modelo *Network Two-Stage* DEA, com o intuito de se aplicar um modelo DEA em rede que seja possível obter os valores das folgas e dos *benchmarks*, cujos índices permitiriam identificar possíveis ações a serem tomadas pelos gestores dos portos ineficientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, C. M. M. **Uma proposta de metodologia para análise de eficiência em portos brasileiros: A Técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA)**. Rio Grande, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande, 2008.

ACOSTA, C. M. M.; DA SILVA, A. M. V. DE A.; LIMA, M. L. P. DE. Aplicação de Análise Envoltória de Dados (DEA) para medir a eficiência em portos brasileiros. **Revista de Literatura de Transportes**, v. 5, n. 4, p. 88–102, 2011.

ALMAWSHEKI, E. S.; SHAH, M. Z. Technical efficiency analysis of container terminals in the middle eastern region. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 31, n. 4, p. 477–486, 2015.

ANTAQ. **Agência Nacional de Transportes Aquaviários**. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Portuario2009/termos.htm>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

ANTAQ. **Agência Nacional de Transportes Aquaviários - Resolução nº 3.290/2014** Dispõe sobre a autorização para a construção, exploração e ampliação de terminal de uso privado, de estação de transbordo de carga, de instalação portuária pública de pequeno porte e de instalação portuária de turismo Brasil, 2014. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/portalv3/pdf/Sistema/Publicacao/0000008037.pdf>>

ANTAQ. **Agência Nacional de Transportes Aquaviários**. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/sistemas/sig/AreaTrabalho.asp>>. Acesso em: 8 set. 2016.

ANTAQ. **Agência Nacional de Transportes Aquaviários**. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/index.php/institucional/a-antaq/>>. Acesso em: 7 set. 2017a.

ANTAQ. **Agência Nacional de Transportes Aquaviários**. Disponível em: <[http://web.antaq.gov.br/Portal/pdf/ContratoAdesao/2017/Lista\\_Geral\\_Instalacoes\\_Portuarias\\_Autorizadas.pdf](http://web.antaq.gov.br/Portal/pdf/ContratoAdesao/2017/Lista_Geral_Instalacoes_Portuarias_Autorizadas.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2017b.

APPA. **Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina. Dicionário básico portuário**. 2. ed. Paranaguá: Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina, 2011.



ARRUDA, C. M.; NOBRE JÚNIOR, E. F. N.; MAGALHÃES, P. S. B. **Método dos indicadores de desempenho proposto pela Antaq: uma aplicação ao terminal portuário do Pecém.** XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Enegep. **Anais...**Rio de Janeiro, Brasil: ABEPRO, 2008Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_tn\\_sto\\_069\\_496\\_11018.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_069_496_11018.pdf)>

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984.

BARROS, C. P.; ATHANASSIOU, M. Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal. **Maritime Economics & Logistics**, v. 6, n. 2, p. 122–140, 2004.

BARROS, P. H. DA C. **Eficiência na operação do porto de Vila do Conde.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

BERTOLOTO, R. F.; MELLO, J. C. C. B. S. DE. Eficiência de portos e terminais privados brasileiros com características distintas. **Journal of Transport Literature**, v. 5, n. 2, p. 421, 2011.

BEUREN, M. M. et al. On measuring the efficiency of Brazilian ports and their management models. **Maritime Economics & Logistics**, p. 1–20, 2016.

BICHOU, K.; GRAY, R. A critical review of conventional terminology for classifying seaports. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 39, n. 1, p. 75–92, 2005.

BNDES. **Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social - Análise e avaliação da organização institucional e da eficiência de gestão do setor portuário brasileiroRelatório Consolidado.** Rio de Janeiro: Booz & Company, 2012.

BRÁS, C. **Metodologia Two-Stage DEA: aplicação a empresa do ramo de seguros.** Lisboa, Portugal: Instituto Politécnico de Lisboa, 2015.

BRASIL. **Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000altera a Lei nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e**

**aplicação, e dá outras providências**Brasília, 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L10165.htm#art3](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10165.htm#art3)>

**BRASIL. Lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001Dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre**Brasília, Brasil, 2001.

**BRASIL. Lei nº 11.518, de 5 de setembro de 2007Acresce e altera dispositivos das Leis nº 10.683/2003, 10.233/2001, 10.893/2004, 5.917/1973, 11.457/2007, e 8.630/1993, para criar a Secretaria Especial de Portos**Brasil, 2007. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11518.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11518.htm)>

**BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.**Brasil, 2010.

**BRASIL. Lei nº 12.379, de 6 de Janeiro de 2011Dispõe sobre Sistema Nacional de Viação**Brasil, 2011. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2011/Lei/112379.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/112379.htm)>

**BRASIL. Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários,** 2013.

**BRASIL. SEP/PR - Secretaria de Portos da Presidência da República.** Disponível em: <<http://www.portosdobrasil.gov.br/sobre-1/institucional/base-juridica-da-estrutura-organizacional/historico>>. Acesso em: 18 set. 2016.

**BRASIL. Lei nº 13.341, de 29 de setembro de 2016Altera as Leis nos 10.683, de 28 de maio de 2003, que dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e 11.890, de 24 de dezembro de 2008, e revoga a Medida Provisória no 717, de 16 de março de 2016.**Brasil, 2016. Disponível em: <<https://dre.pt/application/file/67508032>>

**CÂMARA, M. T. Uma metodologia para avaliação de desempenho em infra-estruturas de transporte concedidas: aplicação às concessões de rodovias federais brasileiras.** Brasília, Brasil: Universidade de Brasília, 2006.

CARMO, T. F. DO. **Proposição de indicadores para avaliação da adequação de portos à Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, Brasil: COPPE/UFRJ, 2015.

CERCEAU, J. et al. Implementing industrial ecology in port cities: international overview of case studies and cross-case analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 74, p. 1–16, 2014.

CHANG, Y. T. Environmental efficiency of ports: A Data Envelopment Analysis approach. **Maritime Policy and Management**, v. 40, n. 5, p. 467–478, 2013.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. v. 2, p. 429–444, 1978.

CHEN, Y. et al. Network DEA pitfalls: Divisional efficiency and frontier projection. **International Series in Operations Research and Management Science**, v. 226, n. 3, p. 507–515, 2013.

CONAMA. **Ministério do Meio Ambiente - Conselho Nacional do Meio do Meio Ambiente - Resolução nº 05, de 5 de agosto de 1993** Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários Brasil CONAMA, , 1993.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Introduction to Data Envelopment Analysis and its use with DEA-solver Software and references**. New York: Springer Science + Business Media, Inc., 2006.

CORTEZ, L. C. S. et al. Análise de eficiência na gestão de portos públicos brasileiros em relação ao papel das autoridades portuárias. **Journal of Transport Literature**, v. 7, n. 2, p. 78–96, 2013.

CRAVEIRO, G. L. **Granéis sólidos no Brasil: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA)**. Brasília: Universidade de Brasília - UnB, 2015.

CULLINANE, K. et al. An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency. **Review of Network Economics**, v. 3, n. 2, p. 184–206, 2004.

D'AGOSTO, M. DE A. **Avaliação do desempenho operacional de sistemas de**

**transportes urbanos em vias segregadas.** Rio de Janeiro, Brasil: IME, 1999.

DASGUPTA, M. K.; SINHA, D. Impact of privatization of ports on relative efficiency of major ports of India. **Foreign Trade Review**, v. 51, n. 3, p. 1–23, 2016.

DOWD, T. J.; LESCHINE, T. M. Container terminal productivity: a perspective. **Maritime Policy & Management**, v. 17, n. 2, p. 107–112, 1990.

DUTRA, A. **Metodologia para avaliar e aperfeiçoar o desempenho organizacional: incorporando a dimensão integrativa à MCDA construtivista-sistêmico-sinérgica.** Florianópolis, Brasil: UFSC, 2003.

DUTRA, A. et al. **Indicadores de avaliação do desempenho portuário: uma análise a partir da literatura científica.** XXXVIII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (Enanpad). **Anais...**Rio de Janeiro: Anais do XXXVIII EnANPAD, 2014

DUTRA, A. et al. Opportunities for research on evaluation of seaport performance: a systemic analysis from international literature. **African Journal of Business Management**, v. 9, n. 20, p. 704–717, 2015.

EBRAHIMNEJAD, A. et al. A three-stage Data Envelopment Analysis model with application to banking industry. **Measurement**, v. 49, p. 308–319, 2014.

ENSSLIN, S. R. et al. **Avaliação multicritério de desempenho de portos marítimos brasileiros: estudo de caso para apoiar à gestão do porto de São Francisco do Sul.** II Congresso Internacional de desempenho portuário - CIDESPORT. **Anais...**Florianópolis: 2015Disponível em: <<http://www.cidesport.com.br/sites/default/files/36777.pdf>>

FALCÃO, V. A.; CORREIA, A. R. Eficiência Portuária: Análise das Principais Metodologias para o Caso dos Portos Brasileiros. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 4, p. 133–146, 2012.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Network DEA. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 34, p. 35–49, 2000.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; WHITTAKER, G. **Network DEA.** Nova York: Springer

Science+Business Media, LLC, 2007. v. 34

FERNANDES, R. L. **Avaliação dos terminais que movimentam contêineres no Brasil através da Análise Envoltória de Dados**. Rio de Janeiro, Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

FONTES, O. H. P. M. **Avaliação da eficiência portuária através de uma modelagem DEA**. Niterói, RJ: Universidade Federal Fluminense, 2006.

FRANCISCO, C. A. C. **Uma metodologia para a análise do desempenho sustentável dos postos de revenda de combustível na cidade de Natal/RN, com o uso de data envelopment analysis-DEA**. Natal, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

FREITAS, C. D. **Gestão de resíduos sólidos no porto organizado de Salvador - Bahia**. Salvador, Brasil: Universidade Federal da Bahia, 2015.

FREITAS, M. A. V. DE et al. **Impactos da infraestrutura portuária na movimentação de cargas e geração de resíduos: panorama atual e proposições futuras - Porto de Aratu-Candeias** Programa de Conformidade do Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos nos Portos Marítimos Brasileiros. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2016a.

FREITAS, M. A. V. DE et al. **Relatório Diagnóstico: Porto de Paranaguá** Programa de Conformidade do Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos nos Portos Marítimos Brasileiros. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2016b.

FREITAS, M. A. V. DE et al. **Impactos da infraestrutura portuária na movimentação de cargas e geração de resíduos: panorama atual e proposição futuras - Porto do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2016c.

FREITAS, M. A. V. DE et al. **Relatório Diagnóstico do Porto do Rio de Janeiro - Programa de Conformidade do Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos nos Portos Marítimos Brasileiros**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2016d.

GAUDÊNCIO, H. R. DA S. C. et al. Gerenciamento de Resíduos Sólidos: estudo de caso em uma associação de catadores na cidade de Mossoró-RN. **Ambiência**, v. 11, n. 3, p. 685–

698, 2015.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

GIACOMELLO, CINTIA P.; OLIVEIRA, R. L. DE. Análise Envoltória de Dados (DEA): uma proposta para avaliação de desempenho de unidades acadêmicas de uma universidade. **Revista GUAL**, v. 7, n. 2, p. 130–151, 2014.

GOBBI, C. N. **Avaliação do desempenho da gestão de resíduos plásticos em portos brasileiros, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, Brasil: Escola de Química/UFRJ, 2015.

GOBBI, G.; CARRARO, I. R.; FURLAN, J. Análise do setor portuário brasileiro: deficiências, transformações e melhorias. **Revista Espacios**, v. 36, n. 4, p. 1–10, 2015.

GOES FILHO, H. DE A. **Planejamento Portuário Apostila do Curso de pós-graduação em Engenharia Portuária**. Rio de Janeiro, Brasil: UFRJ, 2010.

GOMES JÚNIOR, S. F. et al. **Utilização de Modelo Network DEA na avaliação de cursos de pós-graduação Stricto Sensu em engenharia**. XVII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - SPOLM. **Anais...** Rio de Janeiro: SPOLM, 2014

GONZÁLEZ, M. M.; TRUJILLO, L. Reforms and infrastructure efficiency in Spain's container ports. **Transportation Research Part A**, v. 42, n. 1, p. 243–257, 2008.

GUEDES, L. E. M.; PENA, R. C. M.; GUERREIRO, A. DOS S. Análise de Eficiência dos Terminais Portuários do Mercosul. **XXII ANPET**, p. 319–330, 2008.

GUEDES, L. F. DE O. **Subsídios para a implantação do sistema de gestão ambiental em portos organizados**. Rio de Janeiro, Brasil: IME, 2005.

GUIMARÃES, V. DE A.; LEAL JUNIOR, I. C.; GARCIA, P. A. DE A. Environmental Performance of Brazilian Container Terminals: A Data Envelopment Analysis Approach. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 160, p. 178–187, 2014.

GÜNER, S. Investigating infrastructure, superstructure, operating and financial efficiency in the management of Turkish seaports using data envelopment analysis. **Transport Policy**,

v. 40, p. 36–48, 2015.

HANONES, F. F.; MONTEIRO, S. J. Proposta de avaliação de desempenho das autoridades portuárias e de seus arrendatários: uma perspectiva regulatória. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 10, n. Especial, p. 211–246, 2017.

HIRANANDANI, V. Sustainable development in seaports: a multi-case study. **WMU Journal of Maritime Affairs**, v. 13, n. 1, p. 127–172, 2014.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Área Territorial Brasileira**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default\\_territ\\_area.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm)>. Acesso em: 13 jul. 2017a.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Diretoria de Pesquisas Coordenação de Contas Nacionais**. Disponível em: <<http://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=ST12>>. Acesso em: 8 set. 2017b.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos de Transportes Aéreos e Aquaviários**. Brasília: IPEA, 2012. Disponível em: <[http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_transp\\_ortes\\_aereos.pdf](http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_transp_ortes_aereos.pdf)>.

ITOH, H. Efficiency Changes At Major Container Ports in Japan: a Window Application of Data Envelopment Analysis. **Review of Urban & Regional Development Studies**, v. 14, n. 2, p. 133–152, 2002.

JESUS, R. D. DE. **Porto e meio ambiente: um estudo bibliográfico sobre os principais impactos ambientais produzidos pela atividade portuária**. Santos, Brasil: Universidade Santa Cecília, 2015.

KAO, C. Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: a relational model. **European Journal of Operational Research**, v. 192, n. 3, p. 949–962, 2009.

KAO, C.; HWANG, S. Efficiency measurement for network systems: IT impact on firm performance. **Decision Support System**, v. 48, n. 3, p. 437–446, 2010.

KAO, C.; HWANG, S.-N. Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: an application to non-life insurance companies in Taiwan. **European Journal of Operational Research**, v. 185, n. 1, p. 418–429, 2008.

KARIM, A.; ARIF- UZ- ZAMAN, K. A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. **Business Process Management Journal**, v. 19, n. 1, p. 169–196, 2013.

KIRCHNER, L. H. C. **Avaliação da eficiência dos terminais de contêineres através da Análise Envoltória de Dados e do índice de Malmquist**. Brasília: Universidade de Brasília – UnB, 2013.

KOOPMANS, T. . C. **Activity analysis of production and allocation**. An Analysis of Production as an Efficiency Combination of Activities. **Anais...**New York: John Wiley & Sons, Inc, 1951Disponível em: <<http://web.eecs.umich.edu/~pettie/matching/Cowles-Commission-13.pdf>>

KUROSAWA, R. S. DA S. **Análise de sistemas de informação aplicados à gestão portuária**. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo - USP, 2003.

LACERDA, S. M. **Investimentos nos portos brasileiros: oportunidades da concessão da infra-estrutura portuária**: 22. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2005. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Galerias/Convivencia/Publicacoes/Consulta\\_Expressa/Setor/Portos/200509\\_2.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Galerias/Convivencia/Publicacoes/Consulta_Expressa/Setor/Portos/200509_2.html)>. Acesso em: 24 maio. 2017.

LEAL JUNIOR, I. C. **Método de escolha modal para transporte de produtos perigosos com base em medidas de ecoeficiência**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.

LEWIS, H. F.; SEXTON, T. R. Network DEA: Efficiency analysis of organizations with complex internal structure. **Computers and Operations Research**, v. 31, n. 9, p. 1365–1410, 2004.

LIANG, L.; COOK, W. D.; ZHU, J. DEA Models for Two-Stage Processes: Game Approach and Efficiency Decomposition. **Naval Research Logistics**, v. 55, n. 7, p. 643–653, 2008.

LIMA, R. F. C. **Procedimento para avaliação do desempenho operacional de centros de distribuição**. Rio de Janeiro, Brasil: IME, 2004.



LINS, M. P. E. P. E.; MEZA, L. A. L. A. **Análise Envoltória de Dados: perspectivas de integração no ambiente do apoio à decisão**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.

LOPES, A. C. L. **Metodologia Network DEA: Aplicação ao setor bancário**. Lisboa, Portugal: Instituto Politécnico de Lisboa, 2016.

LUZ, E. M. **Análise do Indicador de Produtividade dos Movimentos por Hora como uma medida no sistema de Desempenho Portuário. Um Estudo de Caso no porto de Itapoá**. II Congresso Internacional de desempenho portuário - CIDESPORT. **Anais...** Florianópolis: 2015 Disponível em: <<http://www.cidesport.com.br/sites/default/files/36908.pdf>>

MAGRINI, A. ET AL. **Nota técnica sobre a legislação e melhores práticas de gestão ambiental nos portos marítimos brasileiros Programa de Conformidade do Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos nos Portos Marítimos Brasileiros**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012.

MARTINEZ-BUDRÍA, E. et al. A study of the efficiency of spanish port authorities using Data Envelopment Analysis. **International Journal of Transport Economics**, v. 26, n. 2, p. 237–253, 1999.

MDIC. **Ministério da Indústria Comércio Exterior e Serviços - ALICEWEB**. Disponível em: <<http://aliceweb.mdic.gov.br/menu/index/id/21>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

MELLO, J. C. C. B. S. DE et al. **Curso de Análise Envoltória de Dados**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...**2005

MEZA, L. A. et al. ISYDS- Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 493–503, 2005.

MICHAELIS. **Moderno dicionário da lingua portuguesa**. 5. ed. São Paulo: Cia Melhoramentos de São Paulo, 1998.

MILANI, P. et al. Análise da relação entre modelo de gestão portuária e eficiência em portos de contêineres. **Revista Gestão Industrial**, v. 11, n. 2, p. 1–25, 2015.

MINATO, E. **Avaliação de produtividade de uma indústria na linha do tempo utilizando DEA (Data Envelopment Analysis)**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2006.

MONIÉ, F.; VIDAL, S. M. D. S. C. Cidades, portos e cidades portuárias na era da integração produtiva. **RAP Rio de Janeiro**, v. 40, n. 6, p. 975–995, 2006.

MONTEIRO, P. C. **Análise de desempenho em terminais de contentores portuários**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2015.

MTE. **Ministério do Trabalho e Emprego - Manual do Trabalho Portuário e Ementário**. Brasília: Secretaria de Inspeção do trabalho - SIT, 2001.

MTPAC. **Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil - Transporte Aquaviário**. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/transporte-aquaviario-relevancia.html>>. Acesso em: 8 ago. 2017.

NASCIMENTO, S. DO et al. Mapeamento dos indicadores de desempenho organizacional em pesquisas da área de Administração, Ciências Contábeis e Turismo no período de 2000 a 2008. **Revista de Administração**, v. 46, n. 4, p. 373–391, 2011.

NGUYEN, H.-O. et al. Measuring port efficiency using bootstrapped DEA: the case of Vietnamese ports. **Maritime Policy & Management**, v. 43, n. 5, p. 644–659, 2015.

OLIVEIRA, C. M. **Gestão ambiental portuária: uma análise sobre as políticas de mitigação e adaptação dos impactos socioambientais impostos às comunidades pesqueiras tradicionais**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2015.

OLIVEIRA, M. F. DE. **Metodologia do trabalho científico: um manual para a realização de pesquisas em Administração**. Catalão, Brasil: Universidade Federal de Goiás, 2011.

OMRANI, H.; KESHAVARZ, M. A performance evaluation model for supply chain of shipping company in Iran: an application of the relational network DEA. **Maritime Policy & Management**, v. 43, n. 1, p. 121–135, 2015.

PAIVA, D. M. E. DE. **Análise da Eficiência Ambiental e Operacional dos Portos Brasileiros Exportadores de Soja**. Rio de Janeiro, Brasil: UFRJ, 2015.

PALLIS, A. A.; PAPACHRISTOU, A. A.; PLATIAS, C. Environmental policies and practices in Cruise Ports: Waste reception facilities in the Med. **SPOUDAI Journal of Economics and Business**, v. 67, n. 1, p. 54–70, 2017.

PEREIRA, S. L. et al. Management of Port Solid Waste Framework. **International Journal of Energy and Enviroment**, v. 8, 2014.

PIRES, G. C.; SILVA, V. M. D. **Análise da Eficiência Portuária usando a Metodologia da Análise Envoltória de Dados ( DEA )**. III Congresso Internacional de desempenho portuário - CIDESPORT. **Anais...** Florianópolis: 2016Disponível em: <<http://www.cidesport.com.br/sites/default/files/a52694.pdf>>

PIRES, J. S. **A eficiência técnica dos portos e terminais públicos e privados brasileiros marítimos no período de 2010 a 2014**. Distrito Federal: UnB, 2016.

PROVDANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Nova Hamburgo: Feevale, 2013.

RIOS, C. O. **Mensuração de eficiência: um novo exame aplicado aos portos públicos brasileiros**. Porto Alegre: PUC-RS, 2015.

RIOS, L. R. **Medindo a eficiência relativa das operações dos terminais de contêineres do Mercosul**. [s.l.] UFRGS, 2005.

RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. G.; BECKER, J. L. Análise da Eficiência das Operações nos Terminais de Contêineres do Mercosul. **XXVIII EnANPAD**, p. 1–14, 2004.

ROCHA, C. A. F. DA. **Gerenciamento dos resíduos sólidos em ambiente portuário - Porto do Recife/PE**. Recife, Brasil: Univerdade Federal de Pernambuco, 2016.

ROLL, Y.; HAYUTH, Y. Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA). **Maritime Policy and Management: The Flagship Journal of International Shipping and Port Research**, v. 20, n. 2, p. 153–161, 1993.

RUBEM, A. P. DOS S.; BRANDÃO, L. C.; MELLO, J. C. C. B. S. DE. Avaliação de unidades portuárias brasileiras com análise envoltória de dados e método de Copeland. **Revista Transportes**, v. 23, n. 4, p. 31–41, 2014.

RUBEM, A. P. DOS S.; BRANDÃO, L. C.; MELLO, J. C. C. B. S. DE. Avaliação de unidades portuárias brasileiras com análise envoltória de dados e o método multicritério ordinal de Copeland. **Revista Transportes**, v. 23, n. 4, p. 31–41, 2015.

SANTANA, M. M. A.; CUTRIM, S. S.; ROBLES, L. T. **Gestão de operações portuárias: conflitos, sobreposições e disfunções**. XVIII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais - SIMPOI 2015. **Anais...**São Paulo: FGV EAESP, 2015Disponível em:  
<[http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2015/artigos/E2015\\_T00198\\_PCN49521.pdf](http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2015/artigos/E2015_T00198_PCN49521.pdf)>

SANTOS, E. M. DOS. **Processo para a avaliação de desempenho logístico: uma ferramenta para a cadeia de suprimentos**. Recife, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

SANTOS, I. DE A. DOS; KITZMANN, D. I. S. A educação ambiental no gerenciamento costeiro - estudo de caso no porto do Rio Grande. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, p. 1–12, 2016.

SANTOS, K. G. B. DOS. **Aplicação do modelo Network DEA na avaliação de desempenho dos núcleos de inovação tecnológica**. Natal, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.

SEIFORD, L. M.; ZHU, J. Profitability and marketability os the top 55 U.S. commercial banks. **Management Science**, v. 45, n. 9, p. 1270–1288, 1999.

SEP/PR. **Secretaria de Portos da Presidência da República - Apresentação em Audiência Pública**Brasília, BrasilSEP/PR, , 2010.

SEXTON, T. R.; LEWIS, H. F. Two-Stage DEA: An Application to Major League Baseball. **Journal of Productivity Analysis**, v. 19, p. 227–249, 2003.

SILVA, F. G. F. DA et al. Análise exploratória da eficiência produtiva dos portos brasileiros. **Transportes**, v. 19, n. 1, p. 5, 2011.

SILVA, V. G. DA. **Sustentabilidade em Portos Marítimos Organizados no Brasil: Discussão para Implantação de um Sistema de Indicadores de Desempenho Ambiental**. Rio de Janeiro, Brasil: COPPE/UFRJ, 2014.

SILVEIRA, I. H.; MATOS, K. H. O. DE; LACERDA, M. Modelo de avaliação do desempenho da gestão do setor portuário brasileiro. **E-Tech Atualidades Tecnológicas para Competitividade Industrial**, v. 5, n. 1, p. 120–140, 2012.

SILVEIRA, R. V. **Mensuração da Eficiência dos Terminais Portuários Brasileiros via Análise Envoltória de Dados**. Rio de Janeiro, Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

SOARES, B. G. DA S. et al. **SIMDEA - Sistema integrado de modelagens em análise envoltória de dados**. XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...** Blumenau, Brasil: 2017

SONG, L.; GEENHUIZEN, M. VAN. Port infrastructure investment and regional economic growth in China: Panel evidence in port regions and provinces. **Transport Policy**, v. 36, p. 173–183, 2014.

SOUSA JÚNIOR, J. N. C. DE. **Avaliação da eficiência dos portos utilizando Análise Envoltória de Dados: Estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil**. Fortaleza, Brasil: Universidade Federal do Ceará, 2010.

SOUZA, B. DE L. A. **Mensurando a eficiência do Judiciário brasileiro: uma abordagem DEA em dois estágios**. Brasília, Brasil: Universidade de Brasília, 2015.

TISCOSKI, J. DA S. **Análise da eficiência operacional portuária, por meio da Análise Envoltória de Dados: um estudo de caso dos complexos portuários públicos movimentadores de graneis sólidos agrícolas**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

TONGZON, J. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using Data Envelopment Analysis. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 35, n. 2, p. 107–122, 2001.

TONOLLI, F. M. et al. As implicações da lei nº 12.815/2013 na governança do setor portuário brasileiro pela ótica dos usuários. **Revista Gestão Industrial**, v. 11, n. 1, p. 166–190, 2015.

TORRES, B. G. et al. **Análise de eficiência dos portos brasileiros: uma abordagem pelo**

**método Network DEA.** XXX Congresso de Pesquisa e Ensino em Ttransportes - ANPET. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPET, 2016 Disponível em: <[http://www.anpet.org.br/xxxanpet/site/anais\\_busca\\_online/documents/2\\_383\\_AC.pdf](http://www.anpet.org.br/xxxanpet/site/anais_busca_online/documents/2_383_AC.pdf)>

TORRES, B. G.; MELLO, J. C. B. S. DE; ALMEIDA, M. R. DE. **Representação bidimensional do Network DEA: um estudo de caso com avaliação de docentes.** XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...** Blumenau: 2017

TSCHAFFON, P. B.; MEZA, L. A. Um Estudo de outputs indesejáveis em DEA com aplicação no setor de distribuição de energia elétrica. **XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 533–544, 2011.

UNCTAD/RMT. **United Nations Conference on Trade and Development - Review of Maritime Transport.** Nova York e Genebra: Nações Unidas, 2016.

VALENTINE, V. F.; GRAY, R. The measurement of port efficiency using Data Envelopment Analysis. **Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research**, 2001.

VALOIS, N. A. L. DE. **Proposição Do Uso De Indicadores Ambientais Na Avaliação De Desempenho De Portos Brasileiros.** Recife, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

VASCONCELLOS, F. A. **Gestão de resíduos gerados em ambiente portuário.** Santos, Brasil: UNISANTOS, 2006.

VIANNA JÚNIOR, E. DE O. **Modelo de gestão e automação dos portos brasileiros.** São Paulo, Brasil: Uuniversidade de São Paulo - USP, 2009.

VIEIRA, G. B. B. **Modelo de governança aplicado a cadeias logístico-portuárias.** Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

VIEIRA, G. B. B. et al. Avaliação da eficiência portuária utilizando a Análise Envoltória de Dados: um estudo dos terminais de contêineres dos portos da região sul do Brasil. **Revista Gestão Industrial**, v. 10, n. 4, p. 793–809, 2014.

WANG, D.; ZHAO, Y. Research on quantitative evaluation indicator system of seaport

sustainable development. **OCEANS 2016 - Shanghai**, p. 1–8, 2016.

WANKE, P. F. Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian ports: A two-stage network-DEA approach. **Transport Policy**, v. 29, p. 145–153, 2013.

WORLD BANK. **Port Reform Toolkit**. 2. ed. Washington: World Bank, 2007.

YUNTING, T. The study on human resource management performance evaluation based on Data Envelopment Analysis and Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Digital Content Technology and its Applications**, v. 6, n. 14, p. 256–265, 2012.

ZARY, B. C. DA S. **Procedimento de auxílio ao estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental de projetos de transporte urbano coletivo**. Rio de Janeiro, Brasil: IME, 2015.